

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES  
CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS  
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas**



**“ESTUDIO GEOMECANICO PARA UN OPTIMO  
DISEÑO DE LA EXCAVACION Y SOSTENIMIENTO –  
MINA YAURICOCHA S.A. REGIÓN LIMA”**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**BACH. SANDOVAL BONILLA, Francis Jean Marco**

**ASESOR:**

**Ing. BENAVIDES CHAGUA, Silvestre Fabián**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**CERRO DE PASCO – PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES  
CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS  
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas**



**“ESTUDIO GEOMECANICO PARA UN OPTIMO  
DISEÑO DE LA EXCAVACION Y SOSTENIMIENTO –  
MINA YAURICOCHA S.A REGION LIMA”**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. SANDOVAL BONILLA, Francis Jean Marco**

**Sustentado el día: 11 de Diciembre del 2018 y aprobado ante  
la comisión de jurados**

---

Mg. Joel E. OSCUVILCA TAPIA  
PRESIDENTE

---

Ing. Rosas FLORES MEJORADA  
MIEMBRO

---

Mg. Luis A. UGARTE GUILLERMO  
MIEMBRO

## **DEDICATORIA**

La presente tesis la dedico a mi familia, principalmente a mi madre; Celia Bonilla Rojas que ha sido un pilar fundamental en mi formación como profesional, por brindarme la confianza, consejos, oportunidad y recursos para lograrlo, por estar siempre en esos momentos difíciles brindándome su amor, paciencia y comprensión y por último a mi padre y a mis verdaderos amigos por darme los ánimos de continuar y compartir algunos momentos juntos.

## AGRADECIMIENTO

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, sobre todo a mi amiga compañera y madre por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, a mi padre a pesar de la distancia siempre desearme y anhelar lo mejor para mi vida. Asimismo reconocer el apoyo y la constante motivación de colegas de trabajo en la Compañía Minera Corona – Unidad de producción Yauricocha Ing. Fredy, Barzola Huamán Ing. Wilbert, Coaquira Cárdenas.

Por el sacrificio y profesionalismo que desempeñaban en las empresas termoeléctricas FENIX POWER PERÚ – Central Termoeléctrica KALLPA – Central Termoeléctrica ENGIE en las cuales compartimos labores, Ing. Marleny Pereyra Orellana Ing. Ronald Efraín Delgado Gonzales mi estima y admiración por ser dignos profesionales.

Finalmente mi agradecimiento a mi alma mater Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión la más alta del mundo, por ver pasar los 5 años de estudios entre salones y pasos en sus infraestructuras, a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas por darme la formación profesional que hoy ostento.

Francis Jean Marco SANDOVAL BONILLA

## RESUMEN

La presente investigación que en esta oportunidad tengo a bien de presentar trata sobre el “ESTUDIO GEOMECÁNICO PARA UN OPTIMO DISEÑO DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO – MINA YAURICOCHA – REGIÓN LIMA” Cuyo desarrollo es de cuatro capítulos que brevemente lo resumo a continuación.

El Capítulo I, desarrolla aspectos generales enfocando la problemática de la investigación, considerando aspectos como: identificación y planteamiento del problema, delimitación de la investigación, formulación del problema, objetivos, justificación, limitación de la investigación, y lugar del desarrollo.

El Capítulo II, trata sobre el marco teórico considerando antecedentes del problema, bases teóricas, tratando aspectos como antecedentes del problema, bases teóricas sobre sostenimiento, definición de términos. Formulación de la hipótesis, sus variables.

El capítulo III, describe la metodología y técnicas de investigación; comprendiendo el tipo y nivel de investigación, método de investigación, diseño, población y muestra y las técnicas e instrumento de recolección de datos.

El Capítulo IV, trata sobre los resultados de la investigación considerando los siguientes aspectos: generalidades de la mina Yauricocha, marco geológico, caracterización del macizo rocoso, tensiones en el macizo rocoso, diseño de labores y sostenimiento, método sub level caving, corte y relleno ascendente con relleno detrítico concluyendo con las conclusiones y recomendaciones.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	II
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	III
<b>RESUMEN</b> .....	IV
<b>INTRODUCCION</b> .....	XI
<b>CAPITULO I</b> .....	1
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	1
1.1 IDENTIFICACION Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 DELIMITACION DE LA INVESTIGACION.....	2
1.3 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	3
1.3.1. <i>Problema principal</i> .....	3
1.3.2. <i>Problema específicos</i> .....	3
1.4 FORMULACION DE LOS OBJETIVOS.....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	3
1.4.2. <i>Objetivo específico</i> .....	4
1.5 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION.....	4
1.6 LIMITACION DE LA INVESTIGACION.....	4
<b>CAPITULO II</b> .....	6
<b>2. MARCO TEORICO</b> .....	6
2.1. ANTECEDENTES.....	6
2.2. BASES TEÓRICO – CIENTIFICAS.....	9
2.2.1. <i>Sostenimiento de minería</i> .....	9
2.2.2. <i>Métodos de refuerzo de la roca</i> .....	10
2.2.3. <i>Sostenimiento de mina subterránea</i> .....	10

2.2.4. Índice de designación de la caída de la roca según Deere.....	11
2.2.5. Índice de designación de la calidad de la roca según Palmstrom.....	12
2.2.6. Parámetros del RMR.....	12
2.3. DEFINICIONES DE TERMINOS BASICOS.....	13
2.4. FORMULACION DE HIPOTESIS.....	16
2.4.1. Hipótesis general.....	16
2.4.2. Hipótesis específicas.....	16
2.5. IDENTIFICACION DE VARIABLES.....	17
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>18</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>18</b>
3.1. METODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	18
3.1.1. Método.....	21
3.2.2. Diseño.....	21
3.2. POBLACION Y MUESTRA.....	21
3.2.1 Población.....	21
3.2.2. Muestra.....	21
3.3. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.....	22
3.3.1. Técnicas.....	22
3.3.2. Instrumentos.....	22
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>23</b>
<b>4. ASPECTOS GENERALES DE LA MINA.....</b>	<b>23</b>
4.1. GENERALIDADES.....	23
4.1.1. Ubicación.....	23
4.1.2. Accesibilidad.....	26
4.1.3. Clima y vegetación.....	26

4.1.4. <i>Relieve</i> .....	27
4.2. MARCO GEOLOGICO.....	27
4.2.1 <i>Geología Regional</i> .....	27
4.2.2. <i>Geología Local</i> .....	28
4.2.3. <i>Geología Estructural</i> .....	31
4.2.4. <i>Mineralización</i> .....	35
4.3. CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO.....	36
4.3.1. <i>Levantamiento geomecanico: Línea de detalle</i> .....	38
4.3.2. <i>Distribución de discontinuidades</i> .....	42
4.4. CLASIFICACION GEOMECANICA.....	52
4.4.1. <i>Zonificación geomecanica de la masa rocosa</i> .....	53
4.5. TENSION DEL MACIZO ROCOSO.....	56
4.5.1. <i>Calculo de tensiones</i> .....	57
4.5.2. <i>Estimación de los esfuerzos máximos en la periferia de la excavación</i> .....	59
4.5.3. <i>Condiciones de agua subterránea</i> .....	60
4.6. DISEÑO DE LABORES DE SOSTENIMIENTO.....	61
4.6.1. <i>Forma de excavación</i> .....	61
4.6.2. <i>Abertura máxima de la excavación sin sostenimiento</i> .....	62
4.6.3. <i>Diseño de sostenimiento</i> .....	63
4.6.4. <i>Métodos de estimación de sostenimiento</i> .....	63
4.6.5. <i>Métodos empíricos de estimación de sostenimiento</i> .....	64
4.6.6. <i>Análisis de sostenimiento estimado</i> .....	66
4.7. METODO SUB LEVEL CAVING.....	66
4.7.1. <i>Configuración típica</i> .....	66
4.7.2. <i>Operación del método</i> .....	67



4.7.3. <i>Fundamentos de diseño</i> .....	67
<b>CAPITULO V</b> .....	72
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	72
5.1. CONCLUSIONES.....	72
5.2. RECOMENDACIONES.....	75
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	77
<b>ANEXOS</b> .....	79
<b>Índice de Anexos:</b>	
<b>Anexo N° 1: Matriz de consistencia</b> .....	79
<b>Índice de Tablas</b>	
Tabla N° 1: Rutas de accesibilidad a la mina Yauricocha.....	26
Tabla N° 2: Tipo de roca promedio para los diferentes tipos de aberturas realizadas para los procesos de minado.....	37
Tabla N° 3: Buzamiento y dirección de Buzamiento de las discontinuidades.....	43
Tabla N° 4: Buzamiento y dirección de Buzamiento de las discontinuidades.....	46
Tabla N° 5: Buzamiento y dirección de Buzamiento de las discontinuidades.....	47
Tabla N° 6: Buzamiento y dirección de Buzamiento de las discontinuidades.....	48
Tabla N° 7: Buzamiento y dirección de Buzamiento de las discontinuidades.....	50
Tabla N° 8: Buzamiento y dirección de Buzamiento de las discontinuidades.....	51
Tabla N° 9: Criterio para la clasificación de masa rocosa.....	52
Tabla N° 10: Criterio geomecánico según el tipo de roca.....	53
Tabla N° 11: Zonificación geomecánica de los cuerpos masivos de la Mina Yauricocha.....	55
Tabla N° 12: Esfuerzo vertical para diferentes profundidades.....	58
Tabla N° 13: Esfuerzo horizontal y k para diferentes profundidades.....	59

Tabla N° 14: Valores del ESR para diferentes categorías de excavación (Barton, 2000).....	63
Tabla N° 15: Sostenimiento recomendado de acuerdo al RMR y GSI.....	66

## Índice de Figuras

Figura N° 1: Longitud de la corrida de testigos.....	11
Figura N° 2: Se muestra los sets de las principales familias de discontinuidades .....	44
Figura N° 3: Diagrama estereográfico de planos de los sistemas principales de estructuras.....	45
Figura N° 4: Diagrama estereorafico de planos de los sistemas principales de estructuras. Piso 12 del nivel 870 del cuerpo Antacaca Sur.....	46
Figura N° 5: Diagrama estereorafico de planos de los sistemas principales de estructuras. Piso 12 del nivel 870 del cuerpo Antacaca Sur.....	47
Figura N° 6: Set de las principales familias de discontinuidades.....	49
Figura N° 7: Set de las principales familias de discontinuidades.....	50
Figura N° 8: Concentración de polos, los cuales define los sets de las principales familias de discontinuidades.....	51
Figura N° 9: Esfuerzo vertical, respecto a la profundidad.....	57
Figura N° 10: Variación de K respecto a la profundidad.....	58
Figura N° 11: Comparación de la concentración tensional entre una excavación cuadrada y otra de tipo baúl.....	62
Figura N° 12: Diseño de sostenimiento de labores.....	65
Figura N° 13: Tabla para determinar el tiempo de auto soporte.....	65

Figura N° 14: Espaciamiento de ventanas (8 m. horizontal) y subniveles 1 m. vertical.....	68
Figura N° 15: Modelamiento en Phase.....	69
Figura N° 16: Distribución de taladros Método Sub Level Caving.....	70
Figura N° 17: Carguio de taladros para el minado.....	70
Figura N° 18: Limpieza y carguío del frente minado.....	71
Figura N° 19: Realización de subniveles para el minado.....	71

### **Índice de Laminas**

Lamina N° 1: Plano de ubicación de la Mina Yauricocha.....	25
Lamina N° 2: Plano geomecanico del nivel 720.....	38
Lamina N° 3: Plano geomecanico intersección de labores del nivel 720.....	39
Lamina N° 4: Plano geomecanico por tipo de roca del nivel 720.....	39
Lamina N° 5: Plano geomecanico por tipo de roca del nivel 920.....	40
Lamina N° 6: Plano geomecanico por tipo de roca del nivel 920.....	40
Lamina N° 7: Plano geomecanico por tipo de roca del nivel 1020.....	41
Lamina N° 8: Plano geomecanico por tipo de roca del nivel 1070.....	41

## INTRODUCCION

Todo método de explotación necesita llevar un control geomecánico de estabilidad de la masa rocosa en sus labores de explotación y extracción. Sabemos que Sociedad Minera Corona S. A. - Yauricocha actualmente viene utilizando el método de minado “Hundimiento por subniveles” (*Sub Level Caving*). Este tipo de yacimiento tiene la particularidad que la masa rocosa mineralizada como las rocas de las cajas son de mala calidad, si bien es cierto, que con el método de minado que se viene utilizando se está logrando resultados satisfactorios. Existen problemas de esfuerzo relacionados al cono de subsidencia originada por el método de minado “Hundimiento por subniveles.

Por otra parte la estabilidad de las labores se ve afectado por la profundización y por encontrarse cerca del cono de subsidencia.

Ante esta problemática, el objeto de la presente tesis es la de investigar sobre el **“Estudio Geomecánico para un Optimo diseño de Excavación y Sostenimiento – Mina Yauricocha – Región Lima”**.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 IDENTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Todo método de explotación necesita llevar un control geomecánico de estabilidad de la masa rocosa en sus labores de explotación y extracción. Sabemos que Sociedad Minera Corona S. A. - Yauricocha actualmente viene utilizando el método de minado “Hundimiento por subniveles” (*Sub Level Caving*). Este tipo de yacimiento tiene la particularidad que la masa rocosa mineralizada como las rocas de las cajas son de mala calidad, si bien es cierto, que con el método de minado que se viene utilizando se está logrando resultados satisfactorios. Existen problemas de esfuerzo relacionados al cono de subsidencia originada por el método de minado “Hundimiento por subniveles.

Por otra parte la estabilidad de las labores se ve afectado por la profundización y por encontrarse cerca del cono de subsidencia.

Ante esta problemática, el objeto de la presente tesis es la de investigar sobre el **“Estudio Geomecánico para un Optimo diseño de Excavación y Sostenimiento – Mina Yauricocha – Región Lima”**.

## **1.2 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1 Delimitación espacial**

El presente trabajo se ha realizado en las instalaciones de la SOCIEDAD MINERA CORONA - UNIDAD YAURICOCHA.

### **1.2.2 Delimitación temporal**

6 meses; Julio, del 2017 – Diciembre del 2017

### **1.2.3 Delimitación conceptual**

La presente tesis está enmarcada dentro del aspecto de la investigación sobre **geomecánica del macizo rocoso, diseñar la excavación y sostenimiento**. Dentro de los aspectos conceptuales que se desarrollan se considera: macizo rocoso, levantamiento geomecánico, clasificación geomecánica, diseño de las labores subterráneas, diseño de sostenimiento, método de minado Sub Level Caving.

## **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

### **1.3.1 Problema General**

¿Qué características geomecánicas posee el macizo rocoso de la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A. que permita diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable?

### **1.3.2 Problemas específicos.**

- a. ¿Qué propiedades físicas – químicas posee las rocas de la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A. que permita diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable?
- b. ¿Qué criterios geomecánicos se debe tener para diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable en la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A.?

## **1.4 FORMULACIÓN DE OBJETIVOS.**

### **1.4.1 Objetivo General.**

Determinar las características geomecánicas que posee el macizo rocoso de la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A. que permita diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable.

### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

- a. Determinar las propiedades físicas – químicas que posee las rocas de la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A. que permita

diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable.

- b.** Determinar los criterios geomecánicos que debe tener en cuenta para diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable. En la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A.

#### **1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación justifica su realización y remarca su importancia toda vez que nos permitirá determinar las características geomecánicas del macizo rocoso que se ubica en la mina, el cual alberga a los principales cuerpos de mineral que actualmente se trabaja.

Con estas características se determinara las propiedades de resistencia de la roca y su calidad del área de estudio.

Estos aspectos justifican y dan la debida importancia a la realización de la investigación.

#### **1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.**

Podemos tener limitación en cuanto a:

- Financiamiento para la elaboración del presente estudio.
- Apoyo de personal capacitado.
- Limitaciones en cuanto al apoyo de la empresa no se han encontrado



## 1.6 LUGAR DONDE SE DESARROLLARA LA INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo se ha realizado en las instalaciones de la COMPAÑÍA MINERA CORONA – UNIDAD YAURICOCHA.

Que se encuentra ubicado en:

Distritos: Alis y Laraos.

Provincia: Yauyos

Departamento: Lima

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1 ANTECEDENTES

Habiendo hecho una revisión sobre el tema de investigación en el campo de la minería encontramos que hay bastante información sobre estos temas.

Así tenemos los siguientes estudios:

**2.1.1.** *“Evaluación geomecánica del macizo rocoso para sostenimiento de las labores de explotación en mina San Cristóbal – Compañía Minera Volcan S.A.A”*. De (Michel Cáceres, 2017 pág. 49). Investigación de Pregrado de la Universidad San Luis Gonzaga de Ica, Facultad de Minas y Metalurgia. Donde se llega a la conclusión que la metodología del

estudio estuvo sustentada en la aplicación de la geomecánica, que ha permitido el conocimiento de los problemas de estabilidad de la mina San Cristóbal y por lo mismo se han planteado alternativas de solución para optimizar el sistema de estabilidad. Se tiene mayor ocurrencia en forma de cuñas a lo largo de los subniveles, donde las excavaciones van paralelas al sistema principal de discontinuidad, todo esto de acuerdo al análisis de estabilidad estructuralmente controlado; recordando que, en la mayoría de casos, la sesión de excavación se configura de acuerdo al arreglo estructural. El sostenimiento a se logró con pernos helicoidales de 10 ft x 1 pulg y shotcrete de 2" para la primera etapa, en la segunda etapa el sostenimiento fue pesado con el uso de shotcrete, pernos helicoidales, malla electro soldada y cimbras porque así lo requiere el terreno.

**2.1.2** Según (Blas Placido, 2016 pág. 30), en su investigación titulada *“La geomecánica en el sostenimiento en la mina Ricotona”*. Estudio de pregrado de la Universidad Nacional Micaela Bastidas, facultad de Ingeniería; quien llega a la conclusión que, una vez hechos los análisis *necesarios de los parámetros geomecánicos de RMR y RQD*, determinaron el sostenimiento con cuadros y puntales de madera, aplicándose aquí la geomecánica que ayudó a determinar el sistema de sostenimiento adecuado en la mina Ricotona de Lambrama. Las características del macizo rocoso fueron las que determinaron el sostenimiento con cuadros de madera, este tipo de sostenimiento se realiza en los lugares específicos de la labor minera donde es más inestable. Cabe resaltar que, los elementos de sostenimiento,

garantizaron la estabilidad de la labor en la Ricotona por un periodo de tiempo necesario para la extracción del mineral.

**2.1.3** Para (Pantaleón Junco, 2015 pág. 56), en la investigación titulada *“Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea”*. Estudio de pregrado de la Universidad Católica del Perú, facultad de Ingeniería. Se llega a la conclusión de que la clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR76) para el OreBody de estudio está clasificado predominantemente como roca regular y en algunos sectores localizados como roca mala. Demostrándose los valores de clasificación para los dominios litológicos establecidos. Y recomendando implementar el bloqueo geotécnico de todos los testigos de exploración de manera continua para complementar el modelo geotécnico del macizo rocoso; y continuando con el mapeo geomecánico de las labores subterráneas de preparación, que permitan complementar al plano de Iso valores de RMR76 en cada nivel, con la finalidad de determinar zonas de baja resistencia (enclaves) que podrían requerir un tratamiento específico.

**2.1.4** Córdova Rojas, 2015 pág. 47) en su investigación *“Geomecánica en el minado subterráneo, caso mina Condestable”*. Estudio de pregrado de la Universidad Nacional de Ingeniería, facultad de Ingeniería. Llega a la conclusión de que este procedimiento puede ser aplicado a cualquier variable aleatoria de datos geomecánicos de campo a fin de estudiar su confiabilidad. Pudiendo utilizarse durante el proceso de la toma de datos de campo. Y estudiando la confiabilidad, durante este proceso, se puede mejorar el muestreo de datos. Por ejemplo, en los casos del pórfido

dacítico andesítico y de los tufos podría haberse mejorado la confiabilidad de los datos de campo aumentando las estaciones de mapeo geomecánico. También puede ser utilizado como criterio para establecer los factores de seguridad durante los análisis de diseño. Un programa geomecánico efectivo debe estar orientado al establecimiento de planes de minado coherentes y también a establecer los estándares de los diferentes parámetros geomecánicos relacionados con el minado. Los componentes de un programa geomecánico involucran: la caracterización del sitio, la formulación del modelo mina, los análisis de diseño, el monitoreo del rendimiento de la roca y los análisis retrospectivos.

Dentro de este esquema adquiere mucha importancia la preparación de la información geomecánica básica para los análisis de diseño.

## **2.2 BASES TEÓRICAS - CIENTÍFICAS.**

Durante el desarrollo de la presente Tesis haremos uso de una serie de información tanto bibliográficos, de campo, que darán evidencia sobre la presente investigación. Dentro de la información que haremos uso tenemos:

### **2.2.1. Sostenimiento en Minería.**

(Mendieta Britto, 2014 pág. 35), Nos dice que *“En toda explotación minera, el sostenimiento de las labores es un trabajo adicional de alto costo que reduce la velocidad de avance y/o producción, pero que a la*

*vez es un proceso esencial para proteger de accidentes al personal y al equipo”.*

### **2.2.2. Métodos de refuerzo de la roca.**

Para (Lopez Felix, 2009 pág. 37), existen varios métodos de refuerzo de la roca, siendo el de mayor efectividad el tendón o perno, pues es rápido de instalar y de bajo costo. Se conocen varios sistemas de pernos y tendones de anclaje desarrollados a través de los años por grupos de investigación y empresas fabricantes para su aplicación en la estabilización de excavaciones subterráneas y superficiales. Estos van desde el bulón de madera hasta el tubo de fierro o acero y varilla de acero corrugado que pueden anclarse de dos formas diferentes: puntual y longitudinal. Para los fines de este estudio, nos interesa el anclaje longitudinal, que también puede ser muy variado, pero mencionaremos solo a la lechada de cemento y a la resina epóxica, esta última muy eficiente en sostenimiento inmediato y donde existen aguas corrosivas y otras restricciones.

### **2.2.3. Sostenimiento en minería subterránea**

Para (Mendieta Britto, 2014 pág. 39), el sostenimiento en minería subterránea es muy importante, ya que por la naturaleza del trabajo toda labor que se hace en el interior de la mina se realiza en espacios vacíos y espacios inestables, producto de la rotura de la roca o mineral extraído; para lograr que se mantenga nuevamente estable la zona y en condiciones de trabajarla, la zona debe de redistribuir sus fuerzas, para ello es necesario apoyar inmediatamente con el refuerzo o el

sostenimiento adecuado, considerando el tipo de rocas, fallas con relleno, fallas abiertas, etc.

#### 2.2.4. Índice de designación de la calidad de la roca según Deere.

(Deere, 1984 pág. 53) Nos dice que el índice de designación de la calidad de la roca (RQD) desarrollado por Deere, provee un estimado cuantitativo de la calidad de la masa rocosa, a partir de los testigos de la perforación diamantina.

El RQD es definido como el porcentaje de piezas de testigos intactos mayores de 100 mm (10 cm) en la longitud total del testigo. El testigo deberá tener por lo menos un tamaño NX (54.7 mm o 2.15 pulgadas de diámetro) y deberá ser perforado con un cilindro de doble tubo de perforación. El procedimiento correcto para medir las longitudes de los testigos y el cálculo del RQD son resumidos en la siguiente figura 12.

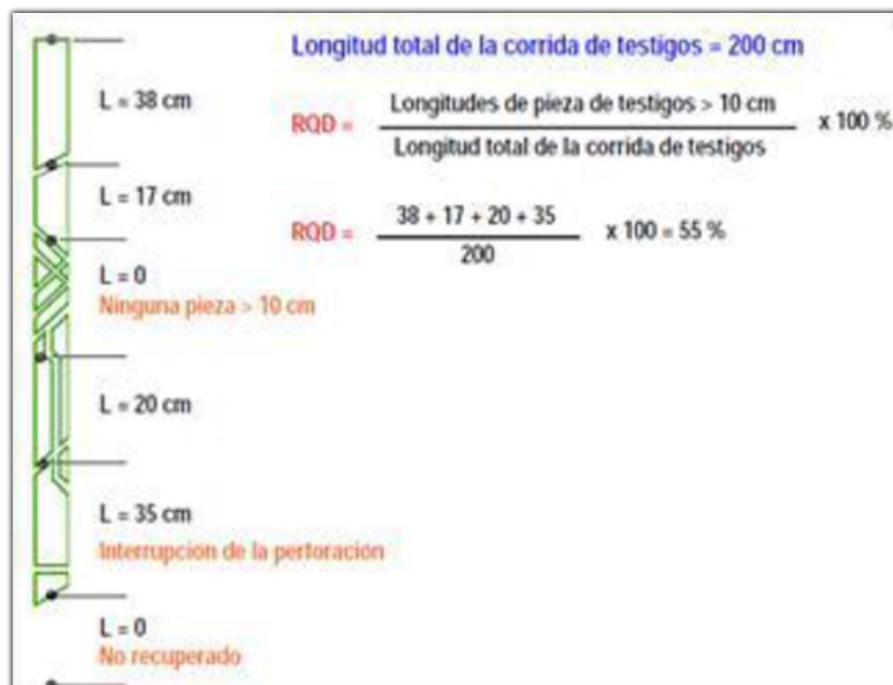


Figura N° 01: Longitud de la corrida de testigos  
Fuente: (Mendieta Britto, 2014)

### **2.2.5. Índice de designación de la calidad de la roca según Palmstrom.**

(Palmstrom, 1982), sugirió que, el RQD puede ser estimado a partir del número de discontinuidades por unidad de volumen, visibles en afloramientos rocosos o socavones.

Nos dice también que la relación sugerida para masas rocosas libres de arcillas es:

$$\mathbf{RQD = 115 - 3.3 J_v}$$

Donde  $J_v$  es la suma del número de discontinuidades por unidad de longitud de todas las familias de discontinuidades, conocido como el conteo volumétrico de discontinuidades.

Donde el RQD es un parámetro direccionalmente dependiente y su valor puede cambiar significativamente, dependiendo sobre todo de la orientación del taladro. El uso del conteo volumétrico de discontinuidades puede ser muy útil en la reducción de esta dependencia direccional.

### **2.2.6. Parámetros del RMR**

El RMR permite hacer una clasificación del macizo rocoso y estimar el tiempo de mantenimiento y longitud de un vano. Tiene seis parámetros que permiten clasificar al macizo rocoso de manera más detallada.

- Resistencia compresiva del material rocoso (Mpa)
- Designación de la calidad de la roca (RQD)
- Espaciamiento de las discontinuidades
- Condición de las discontinuidades



- Condiciones del agua subterránea
- Orientación de las discontinuidades

En la aplicación de este sistema de clasificación, la masa rocosa es dividida en un número de regiones estructurales y cada región es clasificada en forma separada, según (Mendieta Britto, 2014 pág. 75)

### 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Sostenimiento:** según (Mendieta Britto, 2014), es la operación que resuelve el problema de la estructura de la masa rocosa y de los esfuerzos, controlando el movimiento y reduciendo la posibilidad de falla en los bordes de la excavación con el objetivo de crear ambientes de condiciones seguras para el personal de diferentes áreas.

- **RMR:** Es la clasificación geomecánica de Bieniawski, *rock mass rating*, es un sistema de clasificación geomecánica presentado por el Ingeniero Bieniawski y en todas sus modificaciones para estimar el tiempo de soporte de una labor, según lo investigado por (Mendieta Britto, 2014).

- **GSI:** Planteado por (Hoek 2002), es el índice de resistencia geológica, como complemento a su criterio generalizado de falla en roca, también el GSI estima la reducción de la resistencia del macizo para diferentes condiciones geológicas, citado por (Mendieta Britto, 2014).

- **Macizo rocoso:** Según (Mendieta Britto, 2014), es el conjunto de la matriz rocosa y sus discontinuidades, presenta un carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisotrópico, como consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico.

- **Índice de designación de la calidad de la roca (RQD):** El índice de designación de la calidad de la roca (RQD) desarrollado por Deere en 1967, provee un estimado cuantitativo de la calidad de la masa rocosa, a partir de los testigos de la perforación diamantina. (Deere, 1984)

- **Mapeo geomecánico:** El mapeo geomecánico consiste en la recolección de la data del macizo rocoso in situ, la descripción gráfica de las condiciones in situ del macizo rocoso consideran las diaclasas, las condiciones del ambiente y la clasificación del tipo de macizo rocoso, haciendo uso de las herramientas geomecánicas: picota de geólogo, martillo Schmidt, brújula y juego de colores, (Mendieta Britto, 2014).

- **Pernos de roca:** Los sistemas de reforzamiento con pernos de roca minimizan las deformaciones inducidas por el peso muerto de la roca aflojada, así como también aquellas inducidas por la redistribución de los esfuerzos en la roca circundante a la excavación, (Mendieta Britto, 2014).

- **Perno Helicoidal:** Es una barra de acero helicoidal cuya sección transversal es ovalada, con resaltes en forma de un hilo helicoidal izquierdo, que actúa en colaboración con un sistema de fijación formada por una placa de acero perforada y una tuerca de fundición nodular, las cuales actúan de forma complementaria para reforzar y preservar la resistencia natural del macizo rocoso. Es un perno que actúa o transfiere su carga por adherencia, (Mendieta Britto, 2014).

- **Split sets:** Consiste en un tubo ranurado a lo largo de su longitud, uno de los extremos es ahusado y el otro lleva un anillo soldado para mantener la platina, (Mendieta Britto, 2014).

- **Swellex:** También es un perno de anclaje por fricción, pero en este caso la resistencia friccional al deslizamiento se combina con el ajuste, es decir, el mecanismo de anclaje es por fricción y por ajuste mecánico, el cual funciona como un anclaje repartido. El perno swellex está formado por un tubo de diámetro original de 41 mm y puede tener de 0.6 a 12 m de longitud o más (en piezas conectables), el cual es plegado durante su fabricación para crear una unidad de 25 a 28 mm de diámetro, (Mendieta Britto, 2014).

- **Concreto lanzado (Shotcrete):** Es el nombre genérico del concreto cuyos materiales componentes son: cemento, agregado, agua, aditivos y elementos de refuerzo, los cuales son aplicados neumáticamente y compactados dinámicamente a alta velocidad sobre una superficie, (Guzman Zuñiga, 2008).

## **2.4 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.**

### **2.4.1 Hipótesis General**

Determinando las características geomecánicas que posee el macizo rocoso de la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A. nos permitirá diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable.

### **2.4.2 Hipótesis específicas**

- a. Si Determinamos las propiedades físicos – químicos que posee las rocas de la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A. nos permitirá diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable
- b. Determinando los criterios geomecánicos que posee las rocas nos permitirá diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable. En la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A.

## 2.5 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.

### 2.5.1 Variables para la hipótesis general

- **Variable Independiente:**

Características geomecánicas que posee el macizo rocoso

- **Variable Dependiente:**

Diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable

### 2.5.2 Variables para las hipótesis específicas

- **Para la hipótesis a.**

**Variable independiente**

Propiedades físicas – químicas que posee las rocas

**Variable dependiente**

Diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable

- **Para la hipótesis b.**

**Variable independiente**

Criterios geomecánicos que posee las rocas

**Variable dependiente**

Diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 METODO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.**

El presente trabajo de investigación es de carácter APLICATIVO, conforme a los propósitos y naturaleza de la investigación; el estudio se ubica en el nivel descriptivo, explicativo y de correlación siguiendo la siguiente secuencia:

#### **ETAPA DE GABINETE.**

- Se organizó y recolecto la información necesaria.

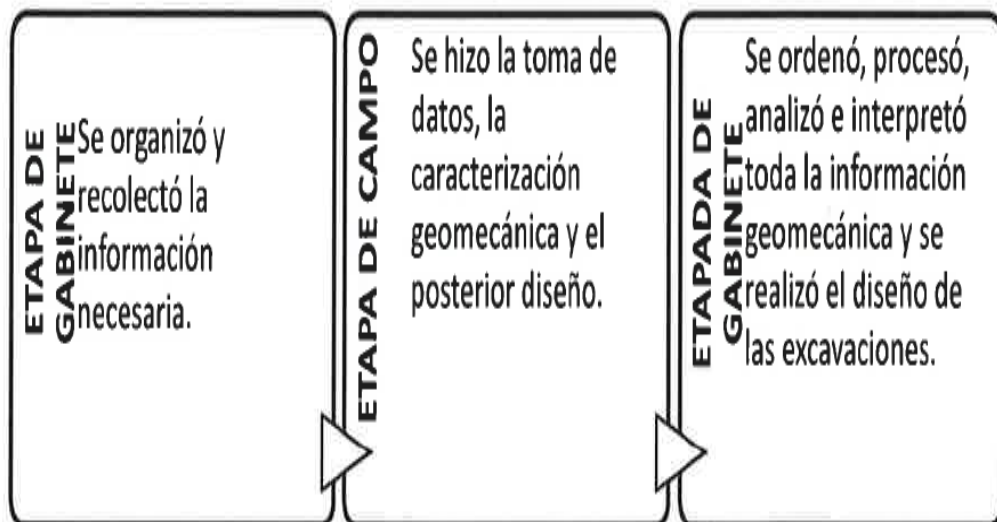
### ETAPA DE CAMPO.

- Se hizo la toma de datos
- La caracterización geomecánica.
- El diseño.

### ETAPA DE GABINETE.

- Se ordenó, proceso, analizo e interpreto toda la información geomecánica.
- Se realizó el diseño de las excavaciones.

Como se muestra en el presente cuadro



**Etapa I:** En esta etapa se estableció el área de investigación.

- Se define el estudio del macizo rocoso que se ubica en Mina Central, el mismo que alberga a los principales cuerpos de mineral que actualmente se trabaja, también en esta etapa se recolecto la información geomecánica existente del yacimiento.
- Se define el estudio del macizo rocoso que se ubica en Mina Cachi, el mismo que alberga a los principales cuerpos de mineral que actualmente

se trabaja- También en esta etapa se recolecto la información geomecánica existente del yacimiento.

**Etapa II:** Se realice la parte experimental del estudio, que permitió obtener los datos necesarios, para realizar la caracterización geomecánica y posterior diseño.

- Registrar información litológica estructural de la masa rocosa: litología. Meteorización, alteraciones, presencia de agua, tipo, forma de superficie de las discontinuidades, espaciado, continuidad, frecuencia de diaclasas. Orientación y rumbo de las estructuras-

- Evaluación de las propiedades de resistencia de la roca utilizando los métodos sugeridos por la ISRM y los criterios de falla mis convenientes.

- Determinación de la calidad de la masa rocosa involucrada en el área de estudio, mediante la aplicación de los criterios de clasificación geomecánica de Bieniawski (1989), Barton (1974) y Marinos & Hock (GSI — Geological Strength Index — 2002).

- Zonificación geomecánica del área de estudio, a fin de determinar los dominios estructurales en base a la información obtenida en los puntos precedentes.

- Evaluación de las características de presencia de agua subterránea.

- Evaluación de las condiciones de esfuerzos

**Etapa III:** En esta etapa se procedió a la interpretación y procesamiento de la información, realizando la evaluación integral del macizo rocoso, lo que permitió la caracterización geomecánica. Con dicha información se procedió al diseño de las excavaciones garantizando su estabilidad y además el desafío de sostenimiento requerido según calidad de roca.



### **3.2 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.**

A efectos de abordar todos los factores que intervienen en el problema planteado, se empleó métodos: inductivo, deductivo, análisis, síntesis.

### **3.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.**

El diseño que utilizare en la investigación será por objetivos conforme al esquema siguiente, conforme al esquema siguiente:

OG = OBJETIVO GENERAL  
HG = HIPÓTESIS GENERAL  
CG = CONCLUSIÓN GENERAL

### **3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.**

#### **3.4.1 Población**

La población está constituida por todas las labores mineras que están en plena operación en la Compañía Minera Corona S.A. – Unidad Yauricocha.

#### **3.4.2 Muestra**

La muestra será mina cachi, mina central, Túnel Yauricocha del Nv 720, es ahí donde se realizará toda la investigación y se extraerá todos los datos necesarios para la presente investigación.

## **3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.**

### **3.5.1 Técnicas**

Las principales técnicas que utilizaré en la investigación es:

- Entrevistas y Encuestas
- Análisis Documental
- Observación

### **3.5.2 Instrumentos**

Los principales instrumentos que utilizare en la investigación son:

- Guía de entrevista
- Cuestionario
- Guía de Análisis Documental
- Guía de Observación
- Técnicas de procesamiento y análisis de datos

## **CAPITULO IV**

### **ASPECTOS GENERALES DE LA MINA**

#### **4.1 GENERALIDADES DE LA MINA YAURICOCHA**

##### **4.1.1. Ubicación**

La mina Yauricocha está ubicada en el distrito de Alis, provincia de Yauyos, departamento de Lima aproximadamente a 12 Km. al Oeste de la Divisoria Continental, localizada geográficamente en la zona alta de la cordillera Occidental Andina, muy cerca de la línea Divisoria Continental, en las nacientes de uno de los afluentes del río Cañete, el que desemboca al Océano Pacífico.

El área de la mina se encuentra a una altitud promedio de 4 600 m.s.n.m,  
Políticamente pertenecen a los Distritos de Alis y Laraos, Provincia de  
Yauyos, Departamento de Lima.



Lamina N° 01: Plano de ubicación de la Mina Yauricocha  
Fuente: Departamento de Planeamiento de la Mina Yauricocha

#### 4.1.2. Accesibilidad:

Las principales vías de acceso a la mina Yauricocha, son por la carretera central Lima - Huancayo — Yauricocha, con 420 Km. de distancia, la vía es asfaltada de Lima a Huancayo — Chupaca, de Chupaca hasta la Mina Yauricocha es Carretera Afirmada. Otra vía importante es por la panamericana Sur Lima - Cañete -Yauricocha, por el valle del río Cañete con una distancia de 370 Km.

Ruta 1	Distan	Ruta 2	Distan	Ruta 3	Distan
Lima- Cañete	150cia Km	Lima-La Oroya	174cia Km	Lima- Jauja	18cia0 Km
Cañete- Yauricoc ha	225 Km	La Oroya - Huancayo	124 Km	Jauja- Huancayo	
		Huancayo- Yauricocha	103 Km	Huancayo -	103 Km
Tiempo promedio	6 Horas	Tiempo promedio	7 Horas	Tiempo promedio	4 horas

Tabla N° 01: Rutas de accesibilidad a la mina Yauricocha

Fuente: Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha

#### 4.1.3. Clima y vegetación:

El clima de la región es frígido, con dos estaciones bien marcadas, la húmeda, del mes de Noviembre a Abril, con precipitaciones principalmente sólidas (Nevada y granizo), y la seca durante el resto del año. Durante la estación húmeda, las precipitaciones sólidas alimentan

los glaciares, para luego formar riachuelos que descienden por laderas y alimentan las lagunas.

#### **4.1.4. Relieve:**

El relieve del distrito minero de Yauricocha es abrupta, tipo alpina y la erosión Pliocénica de la superficie es claramente reconocible en el ondulado campo abierto al NE de la divisoria Continental, mientras que Al Suroeste, el terreno se encuentra dividida por profundos valles y cañones y aun así las reliquias de la erosión superficial se encuentran marcadas por picos con un promedio de 5000 metros de Altura. Al Suroeste de la divisoria Continental los Valles altos corresponden al Levantamiento

“Chacra”, están bien marcados. Debajo de los 3400 metros, el cañón o último gran periodo de levantamiento está claramente demostrado por gargantas profundas que en algunos casos están a miles de metros de profundidad.

## **4.2. MARCO GEOLOGICO**

### **4.2.1. Geología Regional**

Área de la mina, se caracteriza por presentar una marcada y gruesa secuencia sedimentaria calcárea y clástica, fuertemente plegada. Estructuralmente los ejes de los pliegues tienen una dirección preferencial NW, de igual forma se observa un sistema de fallas que siguen la dirección NW.

El Área de la mina, se caracteriza por presentar una marcada y gruesa secuencia sedimentaria calcárea y clástica, fuertemente plegada.

Estructuralmente los ejes de los pliegues tienen una dirección preferencial NW, de igual forma se observa un sistema de fallas que siguen la dirección NW.

#### **4.2.2. Geología Local**

La geología en el área de estudio está claramente definida como se detalla a continuación:

La formación Jumasha del Cretáceo Medio (Turoniano), con espesor promedio de 700 m consistente de caliza masiva de color gris claro. En la base, cerca al contacto con las areniscas, incluye intercalaciones de lutitas carbonosas.

Estos estratos están sucedidos por lentes discontinuos de calizas marrones y grises, ocasionalmente con horizontes lutaceos y silíceos de unos 6,00 m de espesor. También están presentes pseudo brechas de probable origen sedimentario y un sill de basalto. En las cercanías de los cuerpos mineralizados las calizas se encuentran formando aureolas marmolizadas y recristalizadas. Las rocas huésped más favorable para la mineralización en el área de Yauricocha, son estas calizas.

b) Formación Celendín,

Sobre yaciendo concordantemente a las calizas Jumasha se encuentra la formación Celendín; formada por lutitas solidificadas finamente estratificada con intercalaciones de caliza recristalizada, calizas arcillosas, de edad Santoniana (cretácico superior). Su espesor promedio, en el área de Yauricocha. Es de 400 metros.



A esta unidad que anteriormente se le consideraba como estratos inferiores de las capas rojas Casapalca, localmente se le ha denominado France Chert.

c) Capas Rojas Casapalca.

Esta formación sobre yace concordantemente a la formación Celendín siendo su contacto gradacional. Se le ha asignado una edad entre el Cretáceo Superior y el

Terciario Inferior, ya que la ausencia de fósiles no permite datarla con exactitud.

Está constituida principalmente por lutitas rojas calcáreas, calizas puras y calizas arenosas rojizas, ocasionalmente se ha reportado la presencia de flujos de lava y capas tufáceas. En el camino a Chumpe, es posible observar las Capas Rojas, la que presenta un rumbo N25°W y buzamientos de 75° al SW.

d) Cobertura Volcánica Cenozoica.

Se ha reconocido rocas volcánicas a lo largo de la falla Yauricocha, en las partes altas del pillo. Estas unidades volcánicas se encuentran yaciendo en discordancia angular a las formaciones Celendín. Capas Rojas y como "Roof Pendant" sobre los intrusivos. La mayor parte de esta cobertura volcánica es de composición

Andesítica muy silicificadas, de color gris oscuro, grano fino, con presencia de pirita diseminada.

e) Intrusivos.

Las rocas Intrusivas están representadas por dos conspicuos stock de granodioritas, hipabisales. Stock Yauricocha.

El stock granodiorítico de Yauricocha, es de Corma irregular, su superficie cubre aproximadamente 6 km<sup>2</sup>, parte del contacto está controlado por la litología, siguiendo los planos de estratificación. A lo largo de su contacto, al cortar a unidades de la formación Celendín, se encuentran afectadas por el metamorfismo a hornfels (France Chert), las capas rojas están afectadas a cuarcitas y hornfels, las calizas Jumasha, solo sufren un moderado blanqueamiento y normalización.

La granodiorita es de color gris (zona de alteración) a gris rosáceo (zona inalterada), más o menos equigranular y de grano medio. El color en superficie de intemperismo se ve grisáceo con patinas y/o impregnaciones de óxidos de Hierro.

Macroscópicamente, se observa fenocristales de plagioclasas. Anfíboles, hornblendas y trazas de magnetita.

Al SW de la falla Yauricocha entre las localidades. El Paso. Exito pillo y San

Valentín, adora otro cuerpo intrusivo de composición granodiorítica. Grano fino a medio, equigranular, de color gris a gris rosáceo, macroscópicamente se observan fenocristales de plagioclasas, hornblendas, biotitas, magnetita en trazas, y vetillas de epidota. En superficie de intemperismo adquiere un color grisáceo.

- Metamorfismo.

Todas las masas intrusivas han producido aureolas de metamorfismo en las rocas enajenantes; la extensión, tipo y grado de metamorfismo varía grandemente con los diferentes tipos de roca. Las rocas se convierten en cuarcitas, lutitas

Hornfelsicas y calizas recristalizadas. Las aureolas metamórficas que rodean las intrusiones son de diferente extensión. El blanqueamiento de las lutitas se extiende más allá de la zona de los silicatos cálcicos: mientras que las calizas Jumasha son recristalizadas y blanqueadas por distancias bien cortas.

Idealmente las emanaciones que escapan del intrusivo han producido en ciertos casos zonas angostas de: 1,00 m. - 3,00 m de skam y otros de 30,00 m a 50,00 m las que realmente son parte integral de la intrusión, siendo en este caso intrusivo contaminado en vez de caliza alterada. En estas zonas de skam se han desarrollado epidota, zoisita, tremolita, wollastonita. Flogopita. Granate, clorita y diópsido

#### **4.2.3. Geología Estructural**

Como consecuencia de los esfuerzos tectónicos, que dieron lugar al levantamiento de la Cordillera de los Andes,

La estructura local de rumbo general NW-SE está conformada principalmente de:

.11 Pliegues,

Varios pliegues conforman las estructuras principales del área de Yauricocha: anticlinal Purísima Concepción y Sinclinal France Chert en la Mina Central, Anticlinal Cachi y Sinclinal Huamanrripa al Norte y Sinclinal Quimpara inmediatamente al Sur de la laguna Pumacocha, norte de la Mina San Valentín.

El anticlinal Purísima Concepción, que se encuentra al SW de la mina de Yauricocha, es una estructura local apretada, bien marcada y definida por un sill de basalto de 17m de espesor. El "trend" de su eje es

aproximadamente N 50° W con suave "plunge" de 20° al SE. En el eje de este anticlinal y hacia el Flanco F del Sill de Basalto existe ocurrencia de oro diseminado en brechas silicias y horizontes silicificados.

El sinclinal France Chert, ubicado al NE de la mina, es un pliegue igualmente apretado con el "trend" de su eje que cambia de N 35° W (en el S) a N 65° W (en el N) y suave "plunge" de 40° al SE. En el flanco occidental de este pliegue y en calizas bandeadas sin plegamiento subsidiario, se encuentra el depósito mineral de Yauricocha.

En el área de la mina central, el rumbo NW de los sedimentos plegados, fue rolando por esfuerzos horizontales, un ángulo de 30° en el sentido al movimiento de agujas del reloj. Esta distorsión del plegamiento puede haberse producido por una falla de desgarramiento del basamento de rumbo NE-SW.

El Sinclinal Quimpara inmediatamente 1 Km al Sur del desagüe de la laguna

Pumacocha tiene un eje con rumbo N 45° W, Su flanco Este descansando sobre el intrusivo con ángulo de 70° a 75° al W y el flanco Oeste con aproximadamente 80° E conformada por paquetes calcáreos gris oscuros, recristalizados en la proximidad al contacto y ocurrencia de un afloramiento de granates, magnetita y Óxidos de cobre en el mismo contacto.

#### b) Fracturas

Los esfuerzos ocurridos en varias épocas, dieron como resultado el desarrollo de diversos sistemas de fracturas.

Durante el plegamiento, evento pre y/o contemporáneo al intrusivo, tuvo lugar la primera fracturación desarrollándose fallas longitudinales paralelas al rumbo regional de la estratificación. De todas estas fallas, resalta la falla Yauricocha que aparece a lo largo del contacto caliza Jumasha - lutita Celendín la cual se extiende a gran distancia al SE de la mina Ipillo y continua al N. detrás del cerro Huamanripa, paralelo y lo largo de la laguna Silacocha.

Después que los intrusivos se emplazaron, el rumbo de los sedimentos plegados, al NW de la mina, fue girado por esfuerzos horizontales unos 30°. Como resultado de este giro, se desarrollaron cizallas y juntas de rumbo NW-SE, NE-SW y E-W, con buzamiento 50° I-80° NE 6 SW. Las primeras; 60°-85° SE 6 NW, las segundas y 80° N 6 S a casi verticales, las terceras. Este conjunto de fracturas que forman bloques fallados, a través de los dominios biológicos del área, juntamente con la falla Yauricocha representan la fracturación más importante del distrito minero de Yauricocha y ejercieron un fuerte control en la posición de vetas, cuerpos mineralizados.

#### c) Contactos

Los contactos calizas Jumasha - Lutitas Celendín (france Cheri). Calizas Jumashaintrusivo y Lutitas Celendín-intrusivo, tienen importancia estructural durante el plegamiento. Fracturación y ascenso de las soluciones mineralizantes.

#### d) Brechas

Las brechas que ocurren en el área de Yauricocha, siguen principalmente la alineación estructural y se presentan mayormente en

las calizas asociados a los contactos e intercepciones de fracturas; sus formas son tabulares y/o tubulares. Estas brechas que pueden ser tectónicas de explosión, de intrusión o de contacto, constituyen una de las principales estructuras receptoras de mineralización.

e) Geo estructuras principales.

La secuencia sedimentaria en el distrito esta plegada, teniendo su eje un rumbo general N20°W, lo que hace que sea aproximadamente paralela al lineamiento general de los Andes. La estructura de mayor importancia es el Anticlinorio Casapalca, que presenta pliegues (sinclinales y anticlinales) asimétricos. En el área se encuentran cuatro grandes fallas inversas: Infiernillo de rumbo N38°W y buzamiento 70°SW, Rosaura de rumbo N55°W y buzamiento 80°SW. Americana de rumbo N38°W y buzamiento 70°NE, y Rio Blanco, en la parte SW del distrito, con un rumbo N35°E y paralelo al sistema de vetas Casapalca.

Localmente, la estructura principal la constituye el Anticlinal Rosaura, cuyo eje tiene rumbo N30°W. La mina Rosaura se halla emplazada en su flanco W. En esta área hay tres sistemas principales de fracturamiento falla: el sistema principal tiene rumbo N40°-60°W y buzamiento 60°-80°SW, el segundo sistema tiene rumbo N70°-80°W y buzamiento 60°-80°NE, y finalmente el tercer sistema tiene rumbo N20°-30°E y buzamiento 50°-70° al NW. Ver Planos del 13 al 20 — Planos estructurales por niveles).

#### 4.2.4. Mineralización

La mineralización presente en el depósito mineral de Yauricocha está formada principalmente por pirita, cuarzo, enargita. Chalcopirita, bornita, covelita en el núcleo y parte central de los cuerpos; y masas sueltas de pirita friable, galena, esfalerita junto con algo de chalcopirita en una ganga de calizas, arcilla y cuarzo en la periferia.

Asimismo la presencia de Au nativo se halla asociado a dichos sulfuros.

Enriquecimiento Supergénico y Oxidación: la oxidación de los cuerpos mineralizados en Yauricocha es de parcial a completa y va desde superficie hasta por debajo del nivel 720. El enriquecimiento supergénico de sulfuros guarda estrecha relación con la distribución de los Óxidos.

La covelita, Chalcocita y digenita de origen supergénico se encuentran donde los sulfuros están en contacto con los óxidos.

Óxidos Residuales:

Entre los minerales presentes en los Óxidos formados "in-situ", se puede mencionar a la limonita; goethita, jarosita, ficmalita, cuarzo, yeso, anglesita. Caolín, oro y plata. Con excepción de los Óxidos residuales de los cuerpos mineralizados Mascota y Pozo Rico que se extienden desde superficie hasta por debajo del nivel 720. En general, los Óxidos van hasta una profundidad de 10 a 15 m

Óxidos Transportados:

Estos Óxidos están completamente libres de cuarzo y entre ellos se encuentran: cuprita cobre nativo, malaquita, azurita, brocantita, jarosita, cerusita, crisocola y óxido de manganeso. Estos Óxidos transportados siguen la caja piso de los cuerpos mineralizados se les puede encontrar

desde superficie hasta por debajo del Nivel 720, se encuentran relleno de cavidades cársticas.

#### **4.3 CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO**

La cuantificación de las características estructurales y geomecánicas de las rocas circundantes a las estructuras mineralizadas, tienen una justificación técnica y económica para una explotación racional, segura y rentable; su utilización está orientada al planeamiento y diseño, selección de equipos, diseño de la perforación, voladura y sostenimiento de labores mineras superficiales y subterráneas.



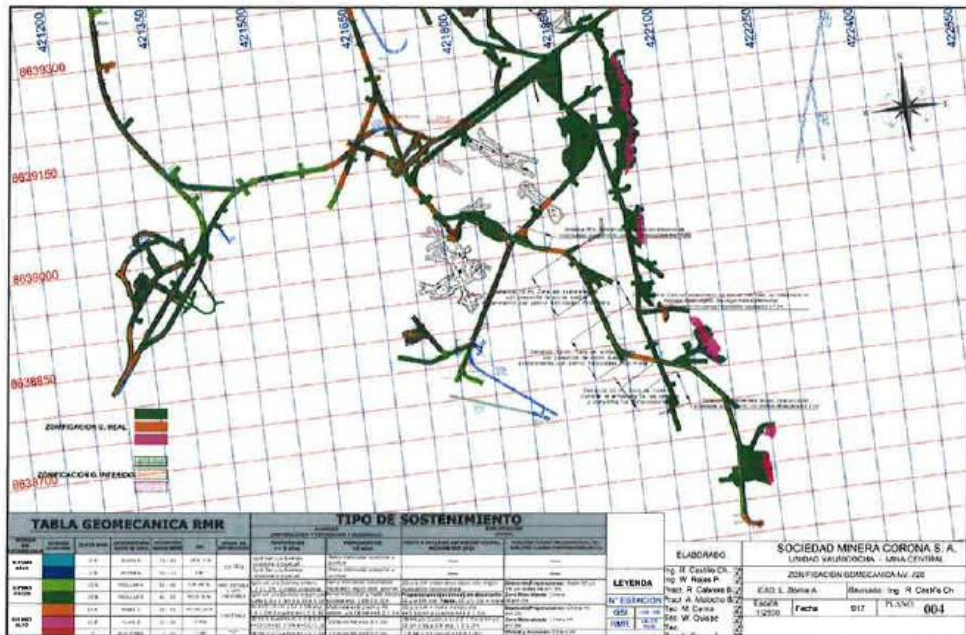
<b>UNIDAD MINERA YAURICOCHA</b>				
<b>DISTRIBUCIÓN DE CALIDAD GEOMECÁNICA POR TIPOS DE ROCAS</b>				
<b>Tipos de Rocas</b>	<b>RMR</b>	<b>% Distribución</b>	<b>Secciones</b>	<b>Zonas</b>
<b>II B</b>	<b>61-80</b>	<b>0,5%</b>	<b>3x3, 3.5x3, 3.5x3.5</b>	<b>II, III, V, Profundización</b>
<b>III A</b>	<b>51-60</b>	<b>10%</b>	<b>3x3, 3.5x3, 3.5x3.5</b>	<b>II, III, V, Profundización</b>
<b>III B</b>	<b>41-50</b>	<b>50%</b>	<b>3x3, 3.5x3, 3.5x3.5</b>	<b>II, III, V, Profundización</b>
<b>IV A</b>	<b>31-40</b>	<b>15%</b>	<b>3x3, 3.5x3, 3.5x3.5</b>	<b>II, III, V, Profundización</b>
<b>IV B</b>	<b>21-30</b>	<b>20%</b>	<b>3x3, 3.5x3, 3.5x3.5</b>	<b>II, III, V, Profundización</b>
<b>V A</b>	<b>0-20</b>	<b>5%</b>	<b>3x3, 3,5x3,5</b>	<b>II, III, V, Profundización</b>

**Tabla N° 02:** Tipo de roca promedio para los diferentes tipos de aberturas realizadas para los procesos de minado.

**Fuente:** Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha

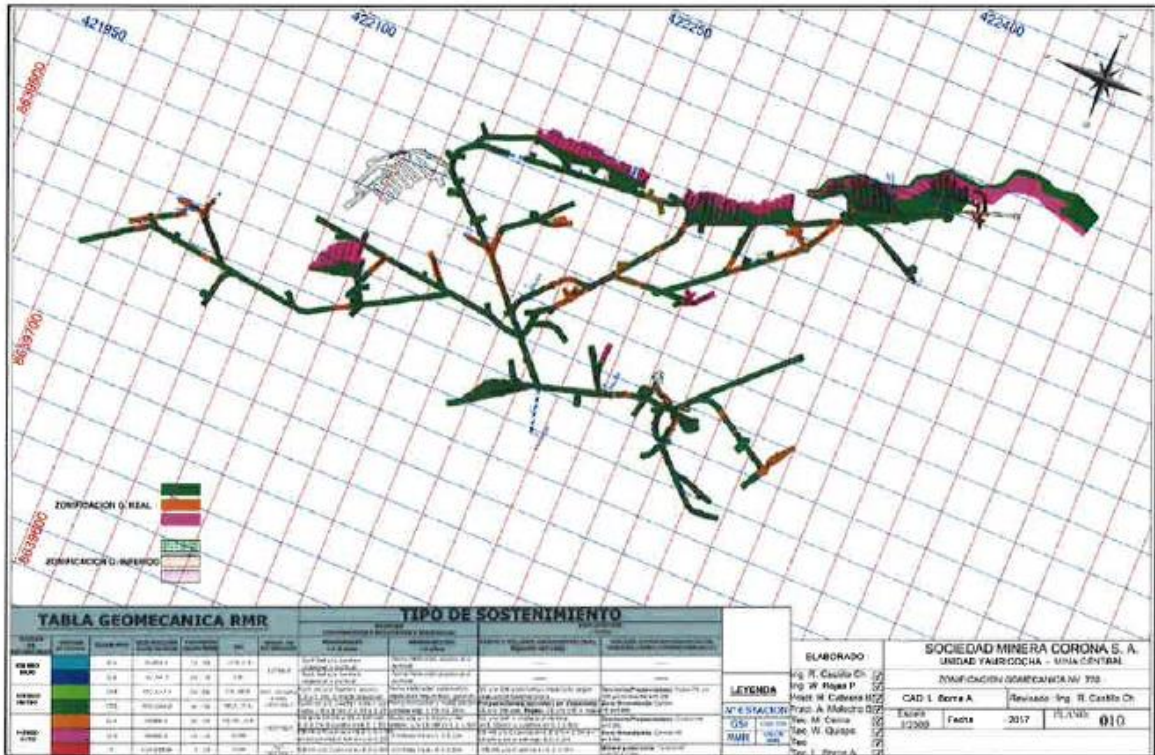
### 4.3.1. Levantamiento geomecánico: línea de detalle

Se registraron datos a partir del mapeo geomecánico de campo, que se llevó cabo utilizando el "método directo por celdas de detalle" (Línea de detalle). Mapeo por tipo de roca usando el RMR o el GSI, mediante este método se realizaron mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes en una estación de medición (Pm), representadas por un tramo de extensión variable de la roca expuesta en las excavaciones en interior mina.



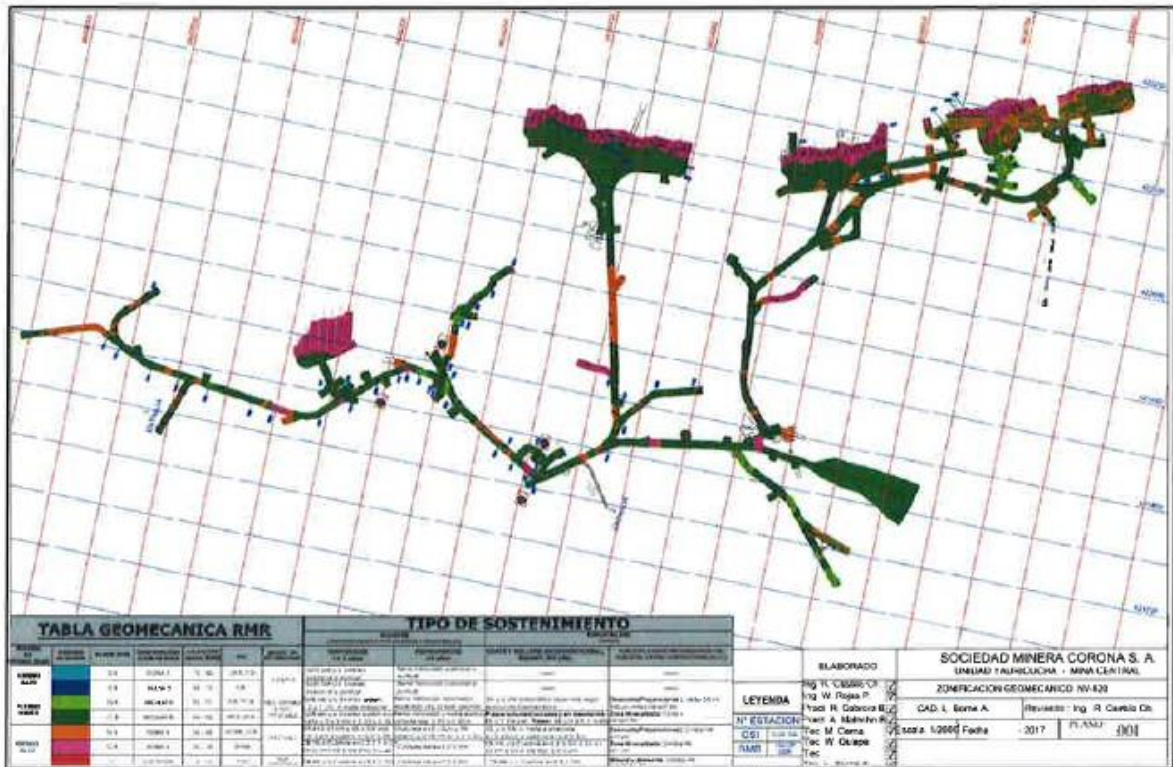
Lamina N° 02: Plano geomecanico del nivel 720.

Fuente: Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha



Lamina N° 03: Plano geomecanico intersección de labores del nivel 720.

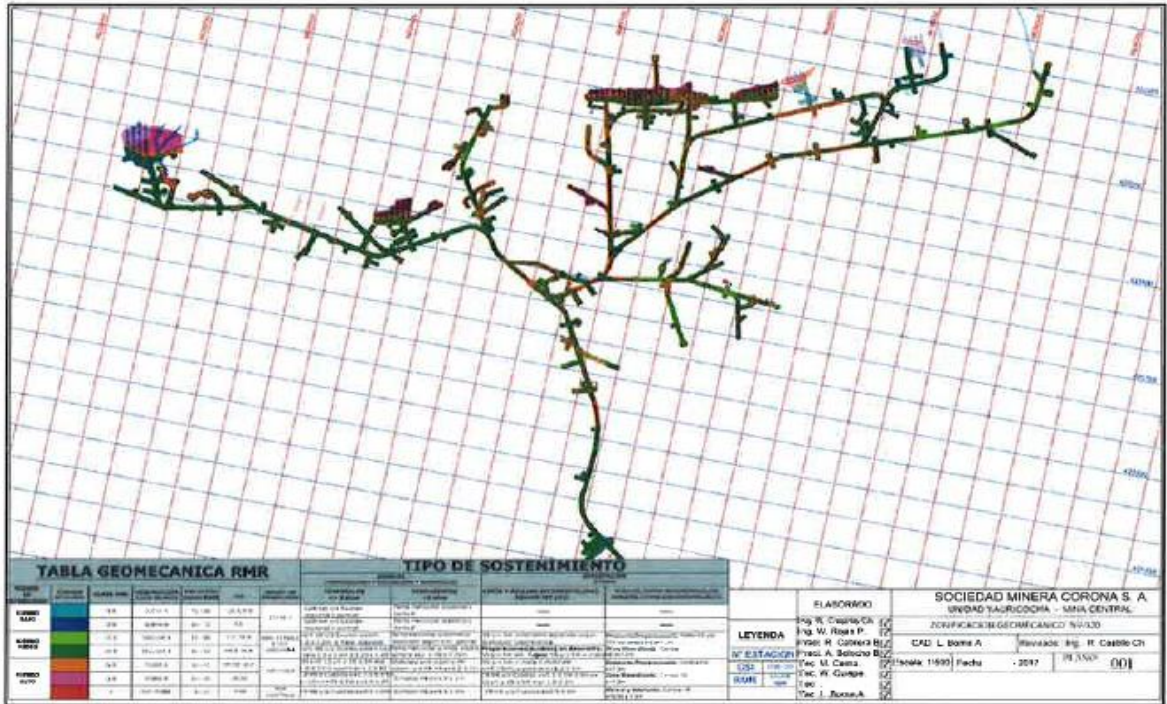
Fuente: Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha



Lamina N° 04: Plano geomecanico por tipo de roca del nivel 720.

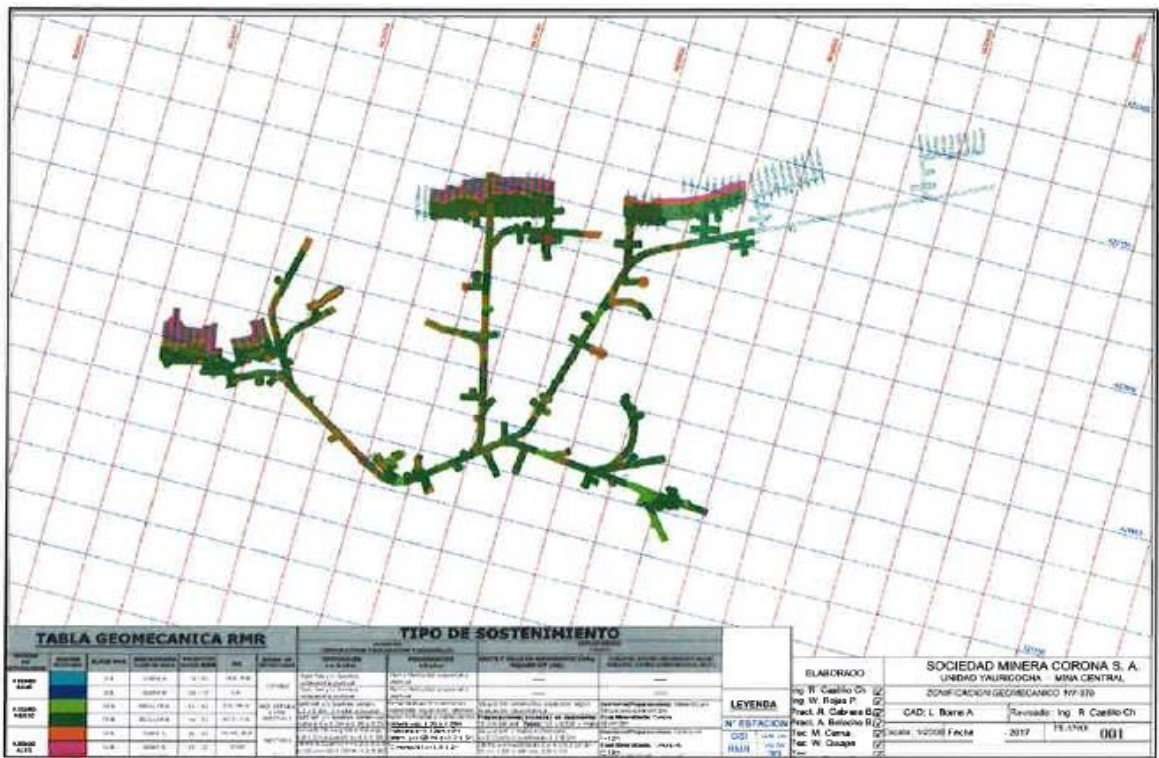
Fuente: Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha





Lamina N° 05: Plano geomecanico por tipo de roca del nivel 920.

Fuente: Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha



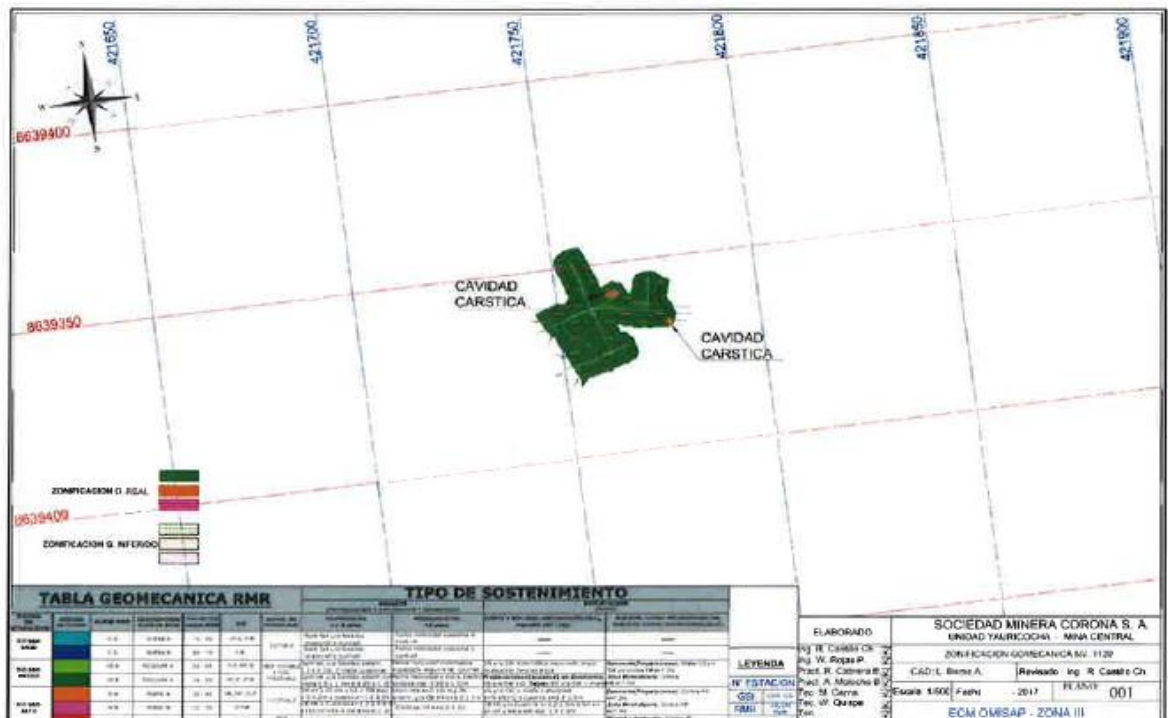
Lamina N° 06: Plano geomecanico por tipo de roca del nivel 920.

Fuente: Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha



Lamina N° 07: Plano geomecanico por tipo de roca del nivel 1020.

Fuente: Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha



Lamina N° 08: Plano geomecanico por tipo de roca del nivel 1070.

Fuente: Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha

Los parámetros de observación y medición se pasan a mapeos sistemáticos que van proyectados al corto plazo y mediano plazo.

Los planos detallados nos permiten inferir el tipo de roca a encontrar en los minados actuales como a futuro.

Estos planos fueron elaborados en formatos de registro diseñados para esta evaluación, adecuándolos a las normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). Estos parámetros fueron: tipo de roca, tipo de sistema de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, intemperización y presencia de agua. Adicionalmente se registraron datos sobre la resistencia de la roca y la frecuencia de fracturamiento.

Cada celda de detalle constituyó una estación de medición y sus respectivos parámetros fueron vectorizados e interpretados conforme se avanza la exploración y los avances de preparaciones, cruceros, bypass, chimeneas y proyectos especiales.

Se aprecian las caracterizaciones de los diferentes tipos de rocas del NV 720 al NV 1170.

#### **4.3.2 Distribución de discontinuidades**

Para establecer las características de la distribución de discontinuidades, el procesamiento de los datos se realiza mediante técnicas de proyección estereográfica, utilizando el programa de cómputo DIPS, En la Figura adjunta se presenta el diagrama estereográfico del composito general de la mina perteneciente al Nv 720.

Los diagramas muestran la presencia de tres a cuatro sistemas de discontinuidades por lo general en toda el área de estudio, formados principalmente por diaclasas y fallas.

a) Del análisis de los resultados obtenidos se señala lo siguiente: En los alrededores del Proyecto de la Cámara de Estación del Ny. 720 Pique Mascota, se tienen claramente definidos tres sistemas estructurales principales y uno secundario que afectan a la zona, la primera con orientación NE-SW teniendo como buzamiento y dirección de buzamiento (DIP/DIP DIRECCION) de 89/162. Este es un sistema principal, la segunda con orientación NE—SW con DIP/DIP DIRECCION de 69/117. Sistema principal, la tercera con orientación NW — SE con DIP/DIP DIRECCION de 69/2. Sistema principal, la cuarta con orientación NE — SW con DIP/DIP DIRECCION de 42/287. Sistema secundario.

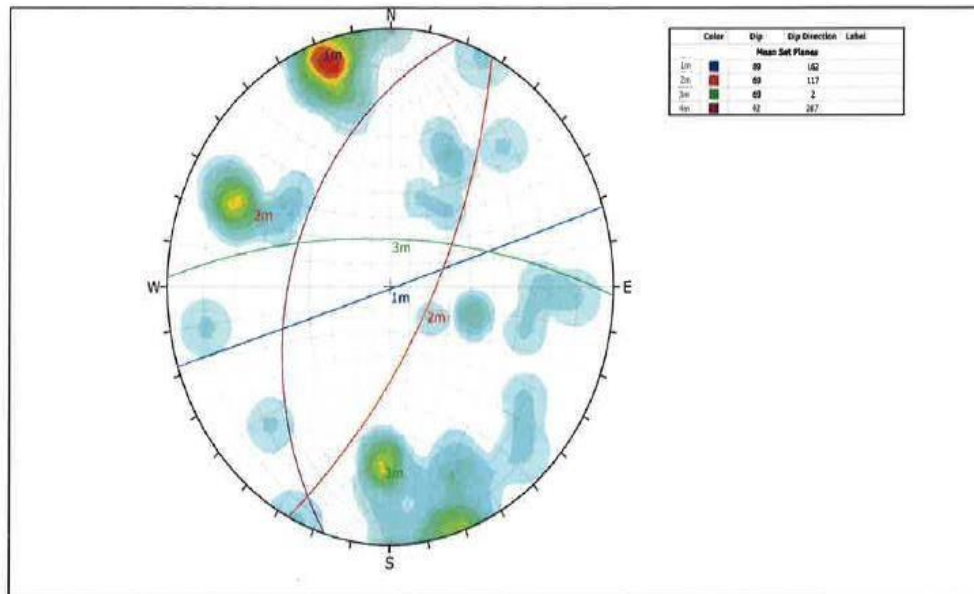
La distribución de las discontinuidades revela que en toda la zona de evaluación se presenta cuatro arreglos estructurales, donde se dan cuatro sistemas típicos de discontinuidades:

SET	DIP	DIP DIR
S1	89	162
S2	69	117
S3	69	2
S4	42	287

**Tabla 03:** Buzamiento y dirección de Buzamiento de las discontinuidades

**Fuente:** Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha





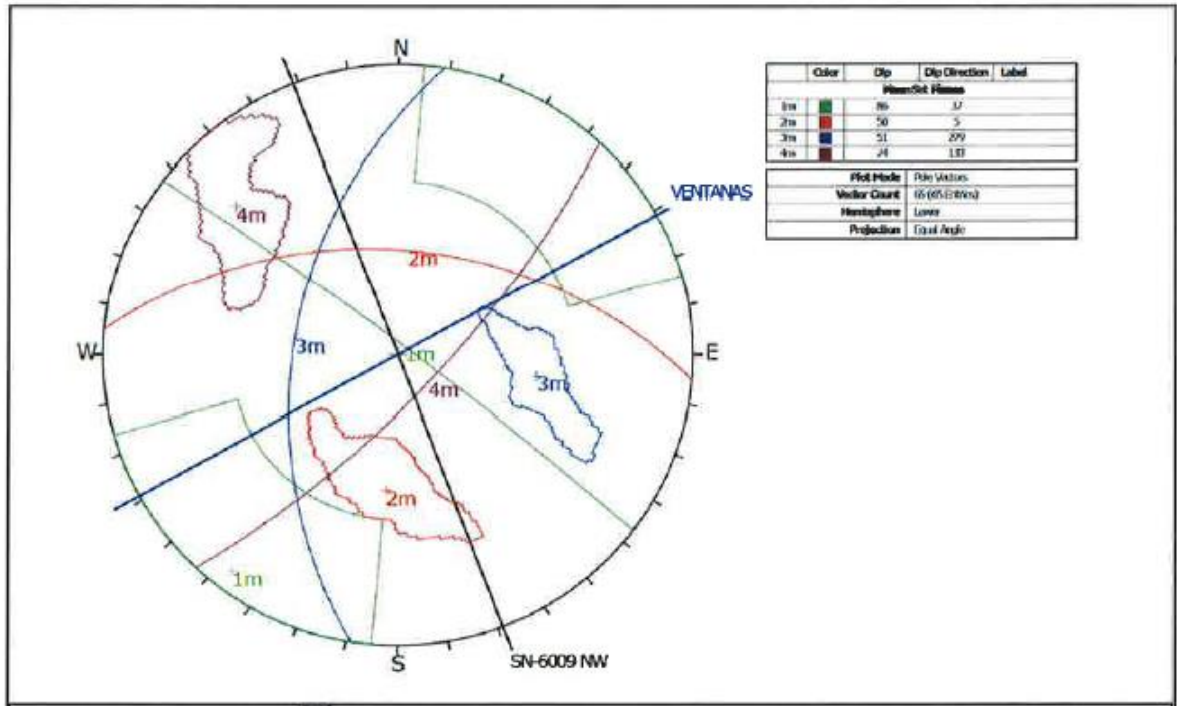
**Figura N° 02:** Se muestra los sets de las principales familias de discontinuidades.

**Fuente:** Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha

b) Del análisis de los resultados obtenidos se señala lo siguiente: En la zona de Antacaca Sur Nv-820 se tienen claramente definidos tres sistemas estructurales principales y uno secundarios que afectan a la zona, la Primera con orientación N WW - S EE teniendo como buzamiento y dirección de buzamiento (DIP/DIP DIRECCION) de 86/37. Este es un sistema principal, la segunda con orientación NN W - SS E con DIP/DIP DIRECCION de 50/5. Sistema principal, la tercera con orientación NN E - SS W con DIP/DIP DIRECCION de 51/279. Sistema principal, la cuarta con orientación NN E SS W con DIP/DIP DIRECCION de 74/133. Sistema secundario.

La distribución de las discontinuidades a nivel compósito en Antacaca Sur Nv-820, revela que en toda la zona de evaluación se presenta tres arreglos estructurales principales, donde se dan cuatro sistemas típicos de discontinuidad:





**Figura N° 03:** Diagrama estereográfico de planos de los sistemas principales de estructuras

**Fuente:** Centro Geotécnico Internacional DIPS

c) Del análisis de los resultados obtenidos se señala lo siguiente: En la zona del Tajo Antacaca Sur piso 12 Nv-870 se tienen claramente definidos tres sistemas estructurales principales y uno secundario que afectan a la zona, la Primera con orientación N WW - S GE teniendo como buzamiento y dirección de buzamiento (DIP/DIP DIRECCION) de 86/37. Este es un sistema principal, la segunda con orientación NN W - SS E con DIP/DIP DIRECCION de 50/5. Sistema principal, la tercera con orientación NN E - SS W con DIP/DIP DIRECCION de 51/279. Sistema principal, la cuarta con orientación NN E - SS W con DIP/DIP DIRECCION de 74/133. Sistema secundario.



orientación NE-SW con DIP/DIP DIRECCION de 76/279. Sistema secundario, la cuarta con orientación NW-SE con DIP/DIP DIRECCION de 73/55. Sistema secundario, la quinta con orientación NW-SE con DIP/DIP DIRECCION de 70/34.

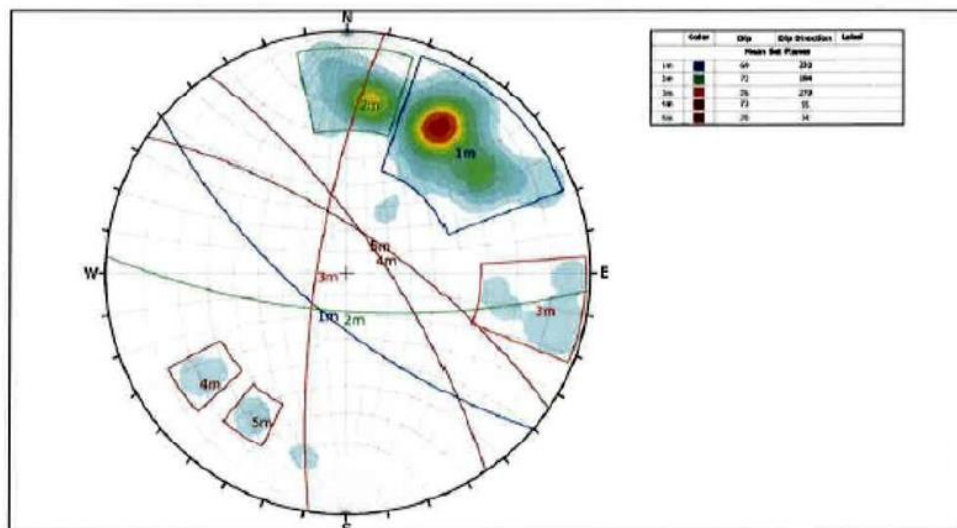
Sistema secundario.

La distribución de las discontinuidades a nivel compósito revela que en toda la zona de evaluación se presenta cinco arreglos estructurales, donde sedan cinco sistemas típicos de discontinuidades:

SET	DIP	DIP DIR
S1	69	220
S2	72	184
S3	76	279
S4	73	55
S5	70	34

**Tabla 05:** Buzamiento y dirección de Buzamiento de las discontinuidades

**Fuente:** Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha



**Figura 05:** Diagrama estereográfico de planos de los sistemas principales de estructuras. Piso 12 del nivel 870 del cuerpo Antacaca Sur.

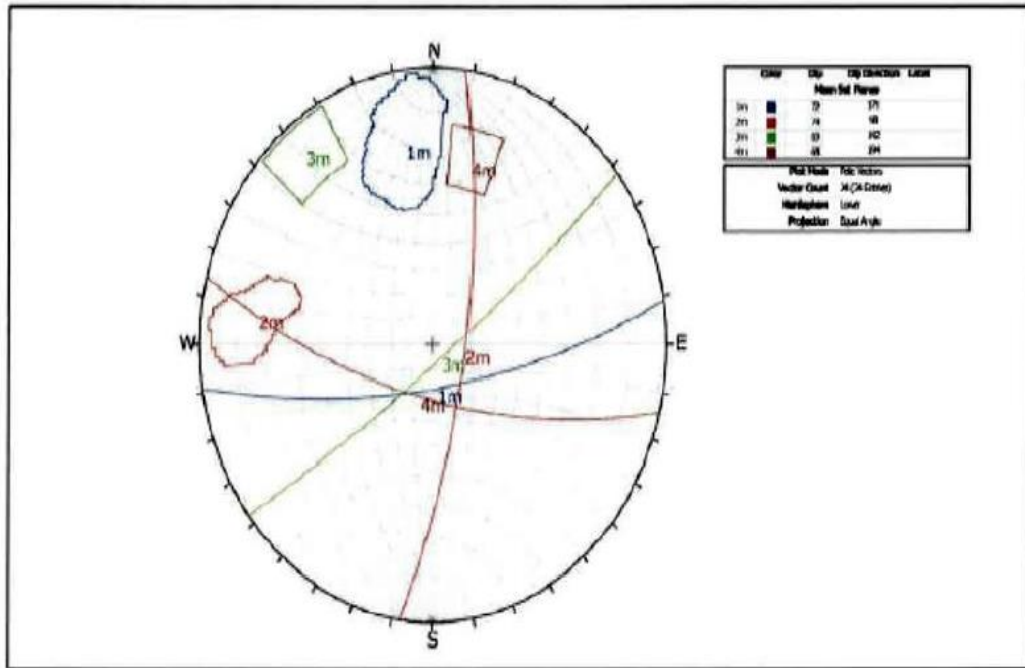
**Fuente:** Centro Geotécnico Internacional DIPS

e) Del análisis de los resultados obtenidos se señala lo siguiente: En el SN.7938 NW del cuerpo Catas piso 16 Nv.970 se tienen claramente definidos dos sistemas estructurales principales y dos secundarios que afectan a la zona, la primera con orientación NESW teniendo como buzamiento y dirección de buzamiento (DIP/DIP DIRECCION) de 72/171. Este es un sistema principal, la segunda con orientación NE SW con DIP/DIP DIRECCION de 74/98. Sistema principal, la tercera con orientación NE - SW con DIP/DIP DIRECCION de 83/142. Sistema secundario, la cuarta con orientación NW - SE con DIP/DIP DIRECCION de 68/194. Sistema secundario. La distribución de las discontinuidades a nivel compósito revela que en toda la zona de evaluación se presenta cuatro arreglos estructurales, donde se dan cuatro sistemas típicos de discontinuidades:

SET	DIP	DIP DIR
S1	72	171
S2	74	98
S3	83	142
S4	68	194

**Tabla 06:** Buzamiento y dirección de Buzamiento de las discontinuidades

**Fuente:** Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha



**Figura 06:** Set de las principales familias de discontinuidades

**Fuente:** Centro Geotécnico Internacional DIPS

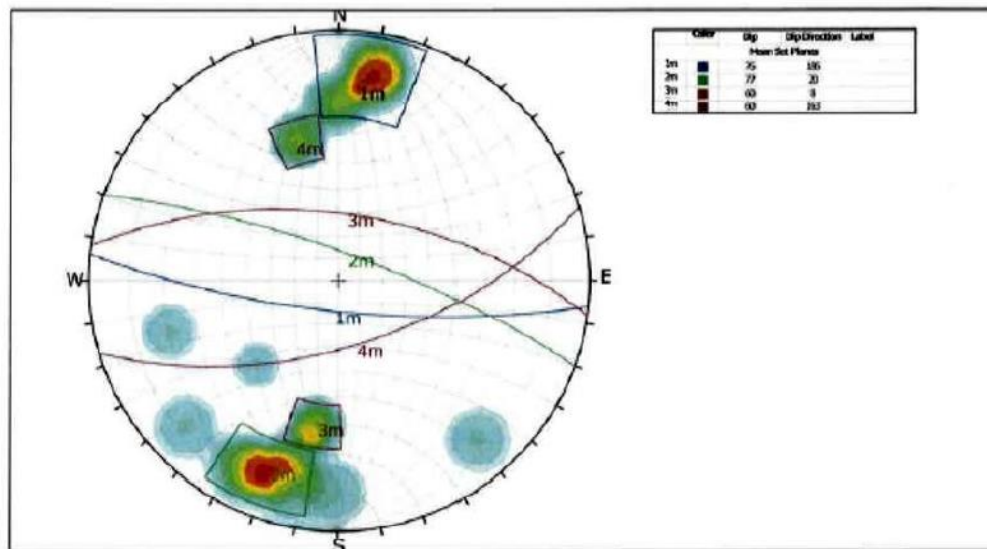
f) Del análisis de los resultados obtenidos se señala lo siguiente: En TJ.7987 cuerpo butz Nv.1020, se tienen claramente definidos dos sistemas estructurales principales y dos secundarios que afectan a la zona, la primera con orientación NW-SE teniendo como buzamiento y dirección de buzamiento (DIP/DIP DIRECCION) de 76/186. Este es un sistema principal, la segunda con orientación NW-SE con DIP/DIP DIRECCION de 77/20. Sistema principal, la tercera con orientación NW - SE con DIP/DIP DIRECCION de 60/8. Sistema secundario, la cuarta con orientación NE - SW con DIP/DIP DIRECCION de 60/163. Sistema secundario.

La distribución de las discontinuidades a nivel compósito revela que en toda la zona de evaluación se presenta cuatro arreglos estructurales, donde se dan cuatro sistemas típicos de discontinuidades:

SET	DIP	DIP DIR
S1	76	186
S2	77	20
S3	60	8
S4	60	163

**Tabla 07:** Buzamiento y dirección de Buzamiento de las discontinuidades

**Fuente:** Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha



**Figura 07:** Set de las principales familias de discontinuidades

**Fuente:** Centro Geotécnico Internacional DIPS

g) Del análisis de los resultados obtenidos se señala lo siguiente: En el TJ-4508 Piso 08 cuerpo mascota Nv. 1070. Se tienen claramente definidos dos sistemas estructurales principales y tres secundarios que afectan a la zona, la primera con orientación NWSE teniendo como buzamiento y dirección de buzamiento (DIP/DIP DIRECCION) de 68/234. Este es un sistema principal, la segunda con orientación NW - SE con DIP/DIP DIRECCION de 71/45. Sistema principal, la tercera con orientación NE - SW con DIP/DIP



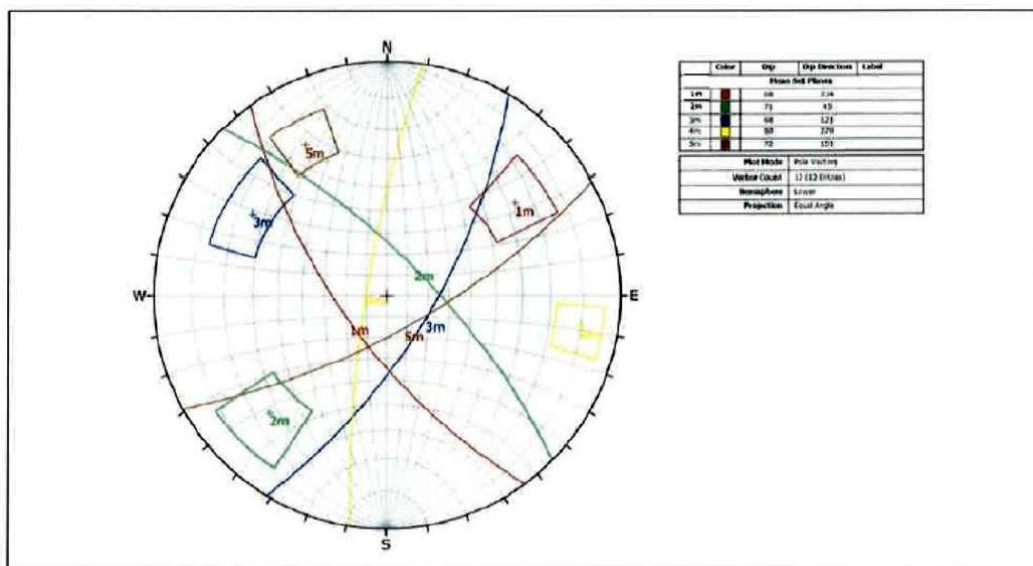
DIRECCION de 68/121. Sistema secundario, la cuarta con orientación NE - SW con DIP/DIP DIRECCION de 80/279 y la quinta con orientación NE - SW con DIP/DIP DIRECCION de 72/151.

La distribución de las discontinuidades a nivel compósito revela que en toda la zona de evaluación se presenta cinco arreglos estructurales, donde se dan cinco sistemas típicos de discontinuidades:

SET	DIP	DIP DIR
S1	68	234
S2	71	45
S3	68	121
S4	80	279
S5	72	151

**Tabla 08:** Buzamiento y dirección de Buzamiento de las discontinuidades

**Fuente:** Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha



**Figura 08:** Concentración de polos, los cuales define los sets de las principales familias de discontinuidades

**Fuente:** Centro Geotécnico Internacional DIPS

En la Actualidad Sociedad Minera Corona S.A viene minando con estructuras de discontinuidades de 2 a 4 familias, asimismo las ventanas por lo general están orientadas al NE perpendiculares a la dirección de la falla Yauricocha.

#### 4.4 CLASIFICACIÓN GEOMECANICA

Para clasificar geomecánicamente el macizo rocoso se usó la información desarrollada precedentemente, aplicando los criterios de clasificación geomecánica de Bieniaswski (RMR -Valoración del Macizo Rocosó – 1989), Barton y colaboradores (Sistema Q – 1974) y Marinos y Hoek (GSI – Geological StrengthIndex – 2002).

Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta fueron conforme a los procedimientos que se señalaran más adelante. Los valores del índice de calidad de la roca (RQD) fueron determinados mediante el registro lineal de discontinuidades, utilizando la relación propuesta por Priest y Hudson (1986), teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fractura miento por metro lineal.

El criterio adoptado para clasificar a la masa rocosa se presenta en el siguiente cuadro.

TIPO DE ROCA	RANGO -RMR	RANGO - Q	CALIDAD - RMR
II	> 60	> 5.92	BUENA
III - A	51 - 60	2.18 - 5.92	REGULAR - A
III - B	41 - 50	0.72 - 1.95	REGULAR - B
IV - A	31 - 40	0.24 - 0.64	MALA - A
IV - B	21 - 30	0.08 - 0.21	MALA - B
V	< 20	< 0.07	MUY MALA

Tabla 09: Criterio para la clasificación de masa rocosa

Fuente: Tabla geomecánica de la Mina Yauricocha



A continuación se detallan las calidades de roca encontradas en la caracterización geomecánica realizada con metodología RMR en lo que corresponde a las rocas presentes en la Mina Yauricocha. Así mismo los resultados obtenidos en el mapeo de los cuerpos masivos. (Mascota, antacaca, catas y cuye.)

UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	UNIDAD LIOLOGICA	VALORACIÓN SEGÚN RMR	CLASE DE ROCA
Stock intrusivo	monzonita	65	Buena
Formación Jumasha	calizas	55	Regular
Formación Celendín	Lutitas silificadas	28	Mala
Cuerpo mineralizado	Sulfuros y óxidos	8-12	Muy mala

**Tabla N° 10:** Criterio geomecánico según el tipo de roca

**Fuente:** Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha

Debido a la condición de gran dinámica de la subsidencia producida por el método de explotación, se optó por evaluar la roca encajonante en zonas donde aún hay la influencia de este fenómeno y posteriormente determinar el tipo de roca.

#### 4.4.1 Zonificación geomecánica de la masa rocosa.

Para la ampliación del cálculo de la mecánica de rocas es necesario que la masa rocosa este dividida en áreas de características estructurales y mecánicas similares, debido a que el análisis de los resultados y los

criterios de diseño serán válidos solo dentro de masas rocosas que presenten propiedades físicas y mecánicas similares.

Dentro de estas propiedades el modelo estructural de la masa rocosa y la calidad de la misma son consideraciones importantes a tomarse en cuenta para la delimitación de los dominios estructurales. Para nuestro caso tiene que ser mayor la importancia de la calidad de la roca que el modelo estructural, dado que la masa rocosa circundante a la explotación generalmente es de calidad mala a muy mala.

En la siguiente tabla (Tabla 05) un resumen de las zonas geomecánicas en términos de la masa rocosa utilizando diferentes criterios de clasificación.

<b>Cuerpo Mineralizado</b>	<b>Zona</b>	<b>Unidad Litológica</b>	<b>RMR</b>	<b>Tipo de Roca</b>	<b>GSI</b>
<b>Cuerpo Cuye</b>	Caja piso	Caliza	61-81	Buena	F/R
	Contacto	Brecha	26	Mala	IF/R
	Sulfuros	Sulfuros	<20	Muy Mala	F/MP
	Contacto	Brecha	22	Mala	F/MP
	Caja techo	Caliza	55	Regular	F-MF/R
<b>Cuerpo Catas</b>	Caja piso	Caliza	51	Regular	F-MF/R
	Contacto	Brecha	25	Mala	MF/P
	Sulfuros	Sulfuros	<20	Muy Mala	F/MP
	Contacto	Brecha	<20	Muy Mala	F/MP
	Caja techo	Lutitas	<20	Muy Mala	F/MP
<b>Cuerpo Antacaca</b>	Caja piso	Caliza	51	Regular	MF/P
	Contacto	Brecha	22	Mala	MF/MP
	Sulfuros	Sulfuros	<20	Muy Mala	F/MP
	Contacto	Brecha	<20	Muy Mala	F/MP
	Caja techo	Lutitas	<20	Regular	F/MP
<b>Cuerpo Mascota</b>	Caja piso	Caliza	55	Regular	MF/P
	Contacto	Brecha	35	Mala	IF/P
	Sulfuros	Óxidos	<20	Muy Mala	IF/MP
	Contacto	Brecha	40	Mala	MF/MP
	Caja techo	Caliza	48	Regular	MF/R

**Tabla N° 11:** Zonificación geomecánica de los cuerpos masivos de la Mina Yauricocha

**Fuente:** Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha

#### 4.5 TENSIONES EN EL MACIZO ROCOSO

Todos los macizos rocosos en estado natural están sometidos a tensiones debido a su propio peso de las capas suprayacentes, confinamiento e historia de tensiones, por lo cual es fundamental conocer la magnitud y orientación de estas tensiones, pero la determinación del estado tensional del macizo rocoso es uno de los problemas más complejos que existen en mecánica de rocas. Las tensiones existentes en los macizos rocosos pueden agruparse en dos grupos: naturales e inducidos

Dentro de las tensiones naturales se encuentran las tensiones litostáticas, las mismas que se producen como consecuencia del peso de la columna de roca por unidad de área de un segmento de la corteza terrestre. La tensión vertical en un punto se determina mediante:

$$\sigma_v = \gamma Z$$

Donde:

Y = Peso Específico

Z - Profundidad

$$\sigma_v = \gamma Z$$

Esta tensión compresiva vertical origina esfuerzos laterales horizontales al tender las rocas a expandirse en direcciones transversales con respecto a las cargas verticales.

Las variaciones laterales de densidad en los materiales puede modificar la distribución de las cargas gravitacionales en la corteza.

Las tensiones inducidas son los que se generan como consecuencia de la modificación o redistribución del estado de esfuerzos natural, por ejemplo la realización de la excavación de un túnel.

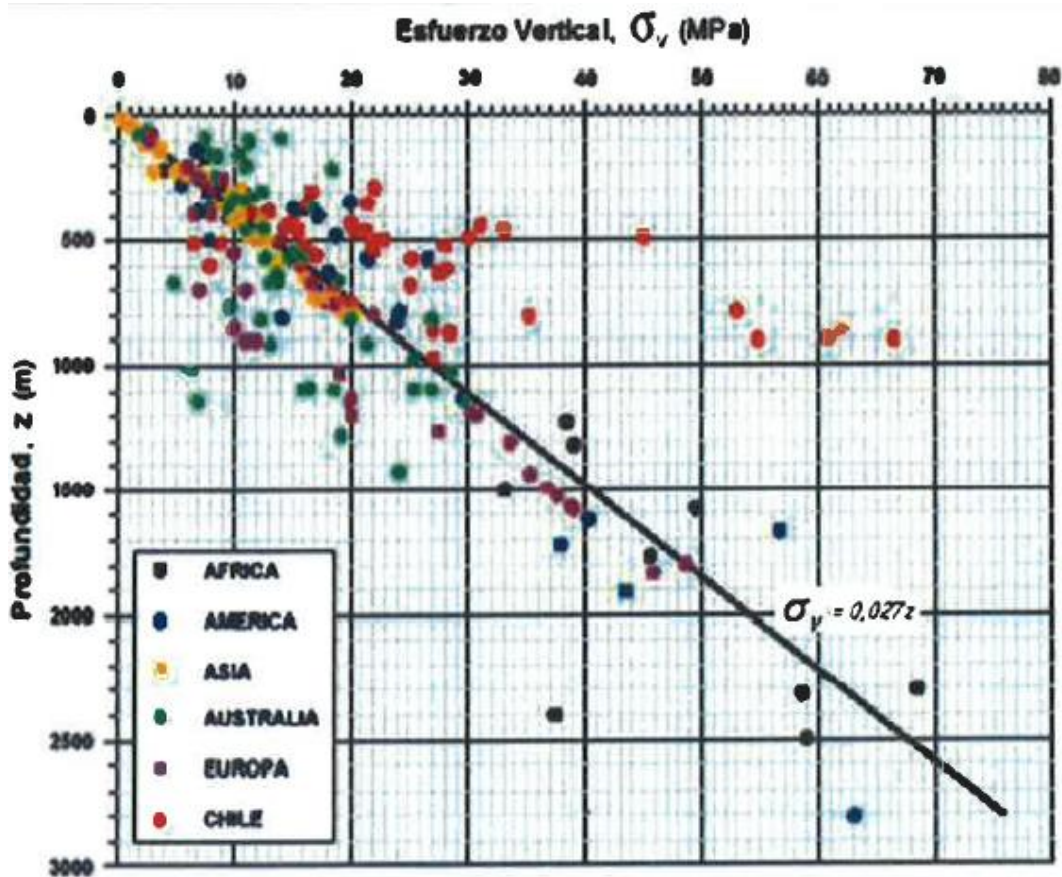


Figura N°09: Esfuerzo vertical, respecto a la profundidad

#### 4.5.1 Cálculo de tensiones

Para el cálculo de tensiones presentes en la zona de estudio se trabajan con profundidades específicas, hasta los últimos niveles de laboreo. Para analizar la variación de K, se observa que para profundidades menores a 500m los valores de K son extremadamente variables situados entre 0.5 y 3.5. Dicha variación de los elevados valores de las tensiones horizontales es por existencia de las tensiones tectónicas en la superficie de la corteza.

NIVEL	PROFUNDIDAD (Z)	Esfuerzo Vertical (MPa) $\sigma_v = 0,027z$
300	40	1.1
360	100	2.7
410	150	4.1
465	205	5.5
520	260	7.0
575	315	8.5
620	360	9.7
670	410	11.1
720	460	12.4
770	510	13.8
820	560	15,1
870	610	16,5
920	660	17,8

Tabla N° 12: Esfuerzo vertical para diferentes profundidades

Fuente: Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha

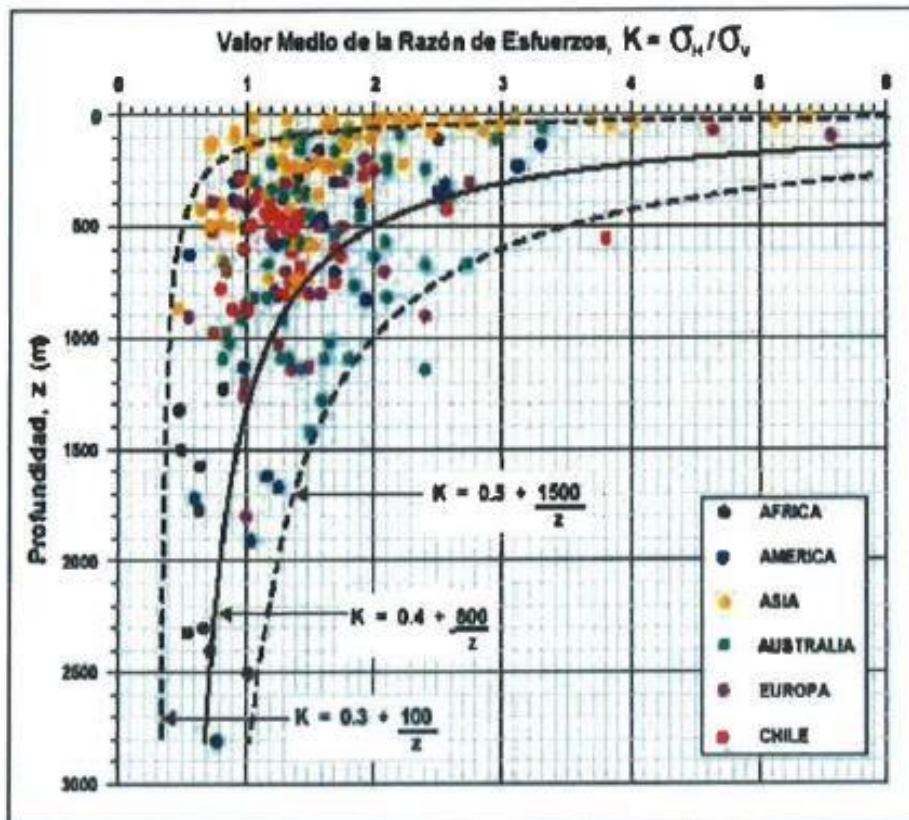


Figura N° 10: Variación de K respecto a la profundidad

Fuente: Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha

Para determinar K utilizaremos la siguiente expresión  $K = 0.3 + 100/Z$

A continuación, presentaremos la variación de K y el esfuerzo horizontal para profundidades entre 0 a 660 metros.

PROFUNDIDAD (Z)	VALOR MEDIO DE LA RAZÓN DE ESFUERZOS (K)	ESFUERZO HORIZONTAL (MPa) $\sigma_h$
40	2.8	3.1
100	1.3	3.5
150	1.0	3.9
205	0.8	4.4
260	0.7	4.8
315	0.6	5.3
360	0.6	5.6
410	0.5	6.0
460	0.5	6.4
510	0.5	6.8
560	0.5	7.2
610	0.5	7.6
660	0.5	8.0

Tabla N° 13: Esfuerzo horizontal y k para diferentes profundidades

Fuente: Departamento de geomecánica de la Mina Yauricocha

#### 4.5.2 Estimación de los esfuerzos máximos en la periferia de la excavación

La distribución de tensiones en el entorno de una excavación en roca masiva elástica, puede obtenerse por medio de la teoría elástica, siempre que se haga algunas hipótesis simplificadas sobre las propiedades mecánicas de las rocas, la forma de la excavación y el campo tensional, es decir el estado tensional del macizo antes de la



excavación. La estimación de los esfuerzos máximos en el techo como en los hastiales de la excavación subterránea

#### **4.5.3 Condiciones de agua subterránea**

Es indudable que la presencia del agua es desde todo punto de vista dañino para las condiciones de estabilidad de las labores mineras. Lo que se observa en el campo es evidente. Las áreas de la mina con mayor presencia de agua son más inestables que aquellas donde la presencia del agua es menor, por lo que el agua ejerce un efecto muy negativo en la estabilidad de las labores mineras de explotación.

Conforme el minado fue avanzando en descenso, el agua apareció en forma de flujo significativo en los cuerpos mineralizados (cuerpos Catas, Antacaca, Rosaura). En los niveles inferiores del minado actual, el agua está migrando hacia el SE por percolación a través de la masa rocosa. Como consecuencia de esto, en los niveles inferiores se está observando cada vez condiciones geomecánicas del mineral (poli metálico) más difíciles, con el peligro de posibles soplos de mineral y/o desmonte de los tajos.

Lo que queda claro, es que se está implementando medidas efectivas de drenaje tanto en subterráneo como en superficie (área de subsidencia), a fin de minimizar los efectos negativos del agua. Sociedad Minera Corona S.A. actualmente está llevando a cabo diferentes obras de drenaje en subterráneo, así como también en superficie, puesto que se observó en el área de subsidencia signos importantes de



escorrentías (cárcavas), que complican más el problema de las inestabilidades tanto subterráneas como en superficie.

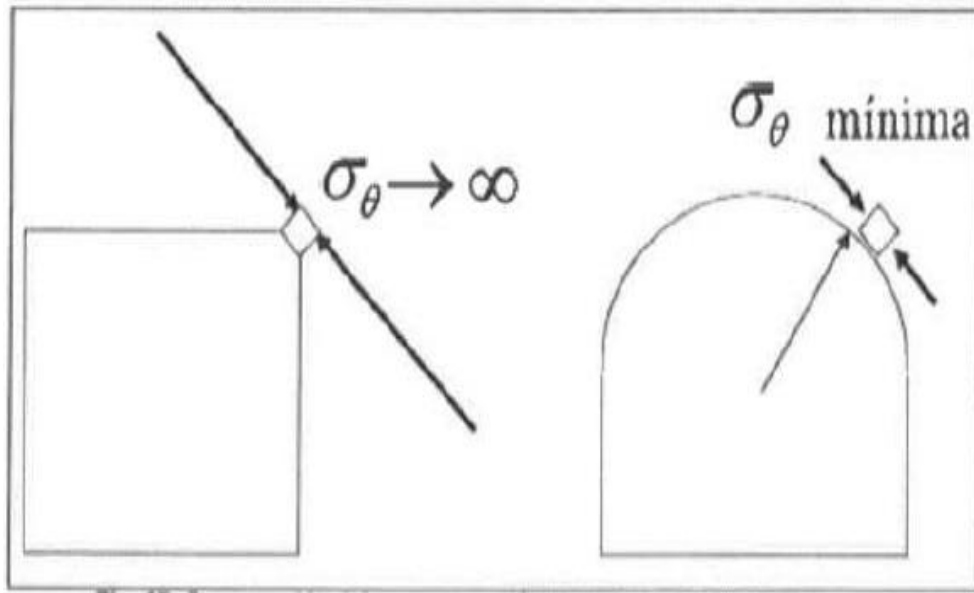
Dentro de los tramos calcáreos Sociedad minera Corona S.A. tiene drenes, detrás del intrusivo se tienen niveles donde el pórfido drena el agua que proviene detrás de las áreas de ataque del minado, controla los niveles de agua en los niveles de minado y niveles ya minados.

#### **4.6 DISEÑO DE LABORES Y SOSTENIMIENTO**

El diseño de una labor subterránea debe de estar en función del tipo de terreno, sección, nivel de seguridad deseado, etc. para luego diseñar y calcular el sostenimiento necesario y estabilizar la labor. Es muy importante el seguimiento y la caracterización geo mecánica continua del avance de la excavación, así como el monitoreo de los tramos ya excavados, dicha información permitirá determinar las deficiencias y lo excesos del sostenimiento instalado.

##### **4.6.1 Forma de la excavación.**

Si las esquinas de una cavidad subterránea formaran ángulos rectos, se producirán en ella concentraciones de tensiones infinitas ya que son inversamente proporcionales a los radios de curvatura. La distribución de tensiones depende de la relación entre el radio de curvatura de la esquina y la anchura del hueco ( $r/W_0$ ). La mayor concentración de tensiones aumenta rápidamente a medida que este cociente disminuye por debajo  $1/4(0,25)$  (Oberty Duvall).



**Figura N° 11:** Comparación de la concentración tensional entre una excavación cuadrada y otra de tipo baúl.

En la Fig. 11 se puede apreciar el comportamiento de la distribución tensional entre una excavación cuadrada y otra tipo baúl, mientras que en la primera tiende a la máxima concentración de tensiones, en la segunda la concentración de tensiones es mínima. Por lo mencionado es que se decide la forma de la excavación tipo baúl.

#### **4.6.2 Abertura máxima de la excavación sin sostenimiento**

En el presente acápite se calculará el diseño de las excavaciones en función de su abertura máxima de la labor sin sostenimiento. Para este cálculo es necesario determinar en qué categoría se encuentra las excavaciones que deseamos diseñar.

El ESR es un factor que depende del tipo de excavación cuyos valores se presentan en tabla 14.

CATEGORIA DE LA EXCAVACIÓN		ESR
A.	Aberturas mineras temporales	3 - 5
B.	Piques verticales	
	Sección circular	2.5
	Sección rectangular/cuadrada	2
C.	Aberturas mineras permanentes, túneles, galerías, túneles piloto.	1.6
D.	Cámaras de tratamiento, plantas de tratamiento de agua.	1.3
E.	Casas de fuerzas, túneles carreteros y ferrocarrileros mayores	1
F.	Estaciones subterráneas de energía nuclear, fábricas	0.8

Tabla N° 14: Valores del ESR para diferentes categorías de excavación (Barton, 2000)

#### 4.6.3 Diseño de sostenimiento

El objetivo principal del diseño de los sistemas de refuerzo para las excavaciones subterráneas, es de ayudar al macizo rocoso a soportarse, es decir, está orientado a controlar la "caída de rocas" evitando los riesgos de accidentes a personas, equipos y pérdidas de materiales. Por lo cual el diseño de sostenimiento constituye una preocupación primordial que debe ser considerada en la planificación de las labores mineras.

#### 4.6.4 Métodos de estimación de sostenimiento

El cálculo del sostenimiento de una excavación subterránea se puede efectuar por alguno de los siguientes métodos: analítico, numérico, empírico y observacional.

[El método empírico proporciona una aproximación al sostenimiento que debe llevar una excavación subterránea y pueden ser muy útil en macizos

rocosos fracturados y como medio de establecer las propiedades del macizo rocoso y los sostenimientos requeridos. Para el presente trabajo se estimara el sostenimiento a partir de este método.

#### **4.6.5 Métodos empíricos de estimación de sostenimiento.**

Los métodos empíricos para la estimación del sostenimiento se basan en las clasificaciones RMR y Q. Se recuerda que el sostenimiento recomendado a partir de las clasificaciones geo mecánicas representa las condiciones medias del tramo considerado y no tienen en cuenta posibles cambios bruscos locales de calidad de roca.

Método por Sostenimiento Practico Minero (RMR-Q-CSI).

La tabla se basa en el diseño de sostenimiento de túneles según el método Nontego (NMT) y las experiencias obtenidas en las minas subterráneas del Perú (Vallejo Corles), incluyéndose además el use de la madera. La tabla correlaciona los Índices de clasificación geo mecánica (GSI, RMR y Q) \ la dimensión equivalente (I fig. 21 >)

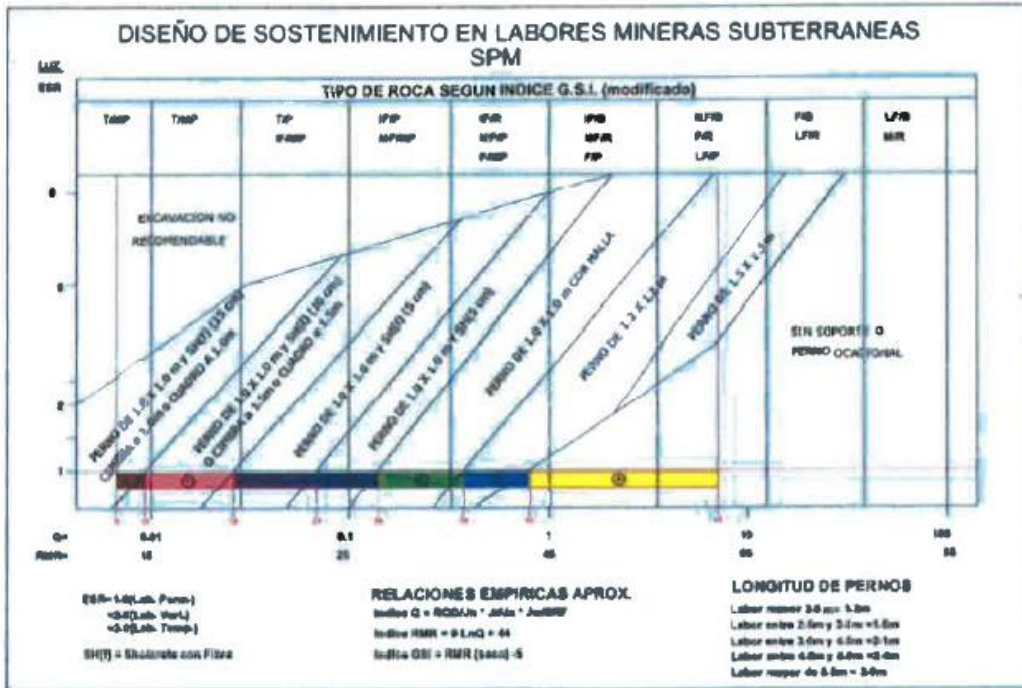


Figura N° 12: Diseño de sostenimiento de labores



Figura N° 13: Tabla para determinar el tiempo de auto soporte

#### 4.6.6 Análisis de sostenimiento estimado

En base a la figura 21, se hizo la correlación del Q con RMR y GSI con sus respectivos elementos de sostenimiento, el resultado de esta correlación se encuentra en la Tabla 16.

GSI	ROCK MASS RATING		SOSTENIMIENTO
F/B, LF/R	71 - 80	BUENA	Auto soporte
MF/B, F/R	61 - 70		
IF/B, MF/R	51 - 60	REGULAR	Pernos sistemático 1.50 x 1.50 m Pernos sistematicos 1.20 x 1.20 m Perno de 1.0 x 1.0 con malla
F/P	41 - 50		
MF/MP	31 - 40	MALA	Pernos sistemático 1.0 x 1.0 m y shotcrete sin fibra de 5 cm de espesor.
IF/P	21 - 30		
IF/R, MF/P	11 - 20	MUY MALA	Pernos sistemático espaciado 1.0 x 1.0 m y shotcrete con fibra de 5 cm de espesor.
F/MP	0 - 10		
T/MP, T/P			Pernos sistemático espaciado 1.0 x 1.0 m y shotcrete con fibra de 10 cm de espesor o cimbra espaciadas a 1.0 ó 1.20 m.
IF/MP			

Tabla N° 15: Sostenimiento recomendado de acuerdo al RMR y GSI

#### 4.7 MÉTODO SUB LEVEL CAVING

El Sub Level Caving es un método de explotación por hundimiento del mineral que por su naturaleza origina subsidencia en las áreas circundantes al cuerpo mineralizado explotado por este método.

##### 4.7.1 Configuración Típica.

Consiste en desarrollar galerías o ventanas paralelas separadas generalmente 8 m de eje a eje en la horizontal, conocidas como galerías de producción, los sub niveles se ubican a través de cuernos mineralizados en intervalos verticales que varían, en la mayoría de casos de 8 a 13 metros (en nuestro caso 16 m). La explotación queda diseñada según su configuración

geométrica simétrica (Fig. 10 y Fig. 11). El acceso a los sub niveles es mediante rampas.

#### **4.7.2 Operación del Método.**

La operación consiste básicamente en la provocación del hundimiento mediante perforación de tiros en abanico desde los subniveles hacia arriba, atravesando el pilar superior, la posterior voladura de las perforaciones, el carguío y transporte del mineral disparado. La extracción desde un frente de galería de producción, llamado también punto de extracción continua hasta que ingrese estéril en una cantidad tal que la ley extraída ya no es económica, en ese momento se dispara la corrida de abanico contigua y se repite el proceso.

#### **4.7.3 Fundamentos de Diseño.**

Al realizar el diseño de un Sub Level Caving se define primeramente la geometría del flujo gravitacional, vale decir determinar el ancho y espesor del Elipsoide de

Extracción (EE) para una cierta altura de extracción. De acuerdo al principio del flujo gravitacional la extracción del mineral roto en un punto origina sobre el un volumen en movimiento que tiene la forma de elipsoide de revolución de altura  $h$  y ancho  $W$  el cual crece en función del incremento de extracción manteniendo una relación de excentricidad prácticamente constante. La excentricidad varia ( $E$ ) de acuerdo al tipo de material (granulometría, viscosidad, humedad, etc.). Este elipsoide se le conoce como elipsoide de desprendimiento.

El método se fundamenta básicamente en una serie análisis de las siguientes variables:



- Dimensiones del Elipsoide de Extracción y Elipsoide de Desprendimiento.
- Espaciamiento vertical de sub niveles (hs).
- Espaciamiento horizontal de galerías (sd) y
- Ancho de tajada 6 burden

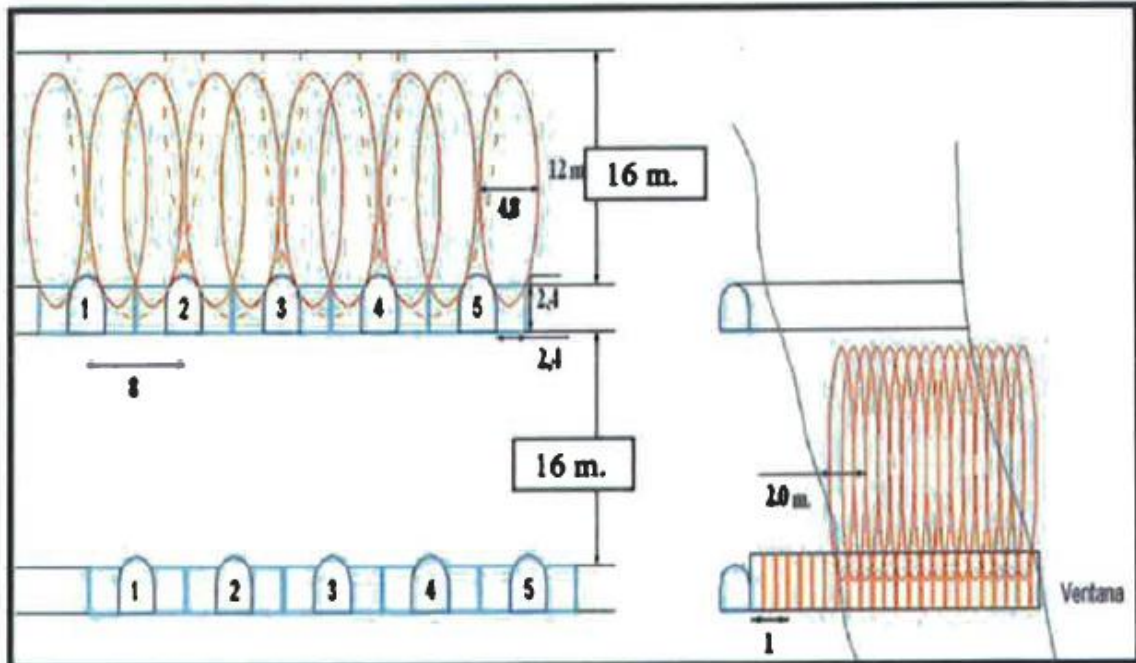


Figura N° 14: Espaciamiento de ventanas (8 m. horizontal) y subniveles (1 m. vertical)

#### 4.8 CORTE Y RELLENO ASCENDENTE CON RELLENO DETRÍTICO.

- El corte y relleno ascendente es un método caracterizado por optimizar la dilución del corte y en algunas oportunidades es más selectivo.
- Se trabaja con cortes de acuerdo a la caracterización del tipo de roca.
- Se puede trabajar con breasting convencional y mecanizado.
- El relleno es detrítico y no es ácido por que proviene de los avances y un 95% es de zonas de calizas.
- Los sostenimientos van desde pernos ocasionales hasta perno malla y shoterete.
- Sus ciclos de minado dan exposiciones de 20 a 35 días de exposición.



- Las cajas por lo general son calizas teniendo rocas de U-A a I - B.
- Sociedad Minera Corona S.A. Viene minando corte y relleno ascendente con áreas pequeñas de minado y utilizando brazos de batido apoyado con rampas de ataque temporales.
- Se dejan puentes para garantizar el minado ascendente. Y se modelan por elementos finitos en este caso con rocscienc el programa aplicativo Phase para garantizar un adecuado factor de seguridad, que estaría en función al tiempo de exposición de cada corte, y a los anchos de minado.

Figura N°

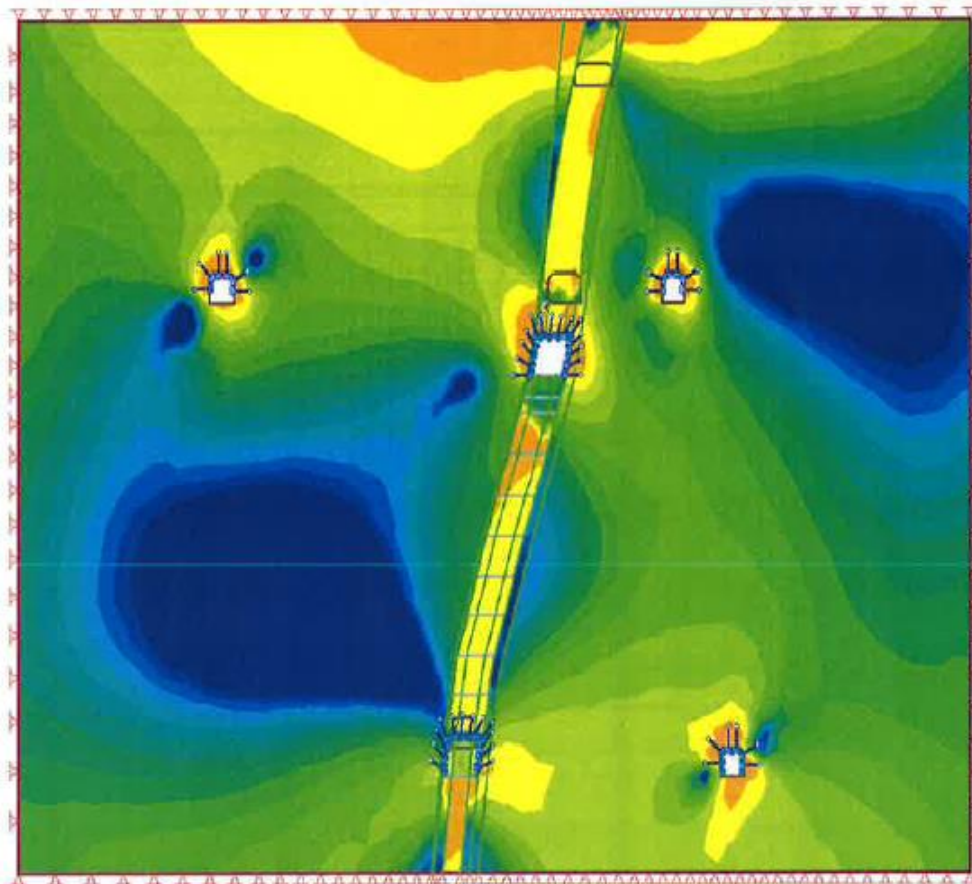


Figura N° 15: Modelamiento en Phase.

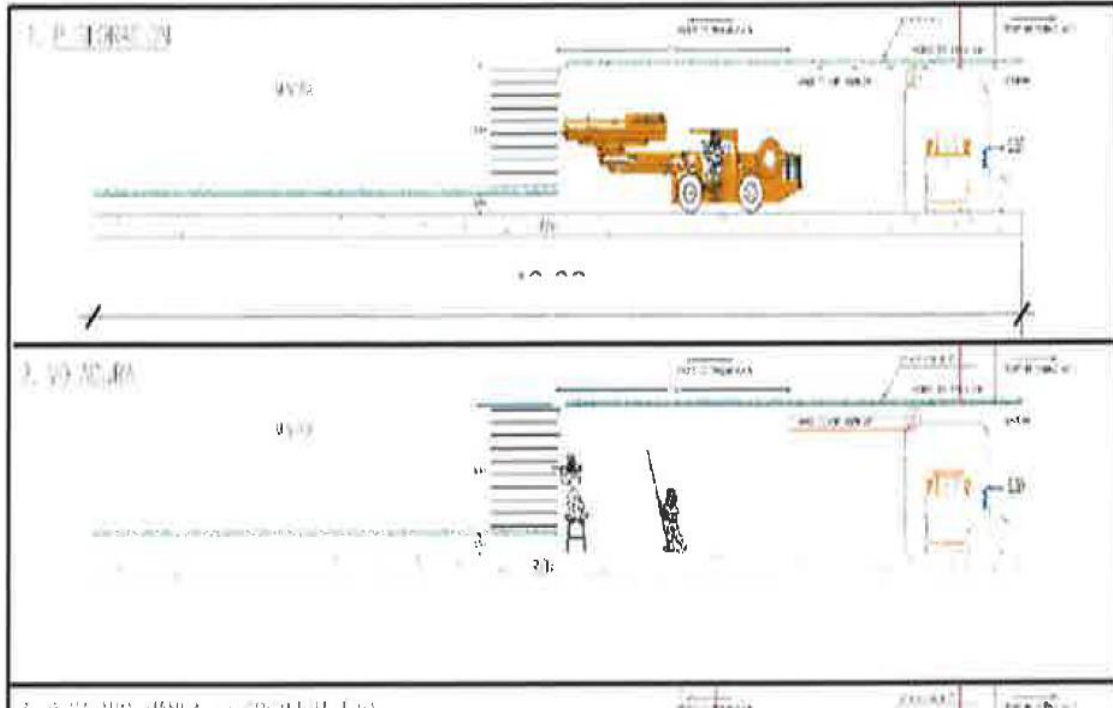


Figura N° 16: Distribución de taladros Método Sub Level Caving

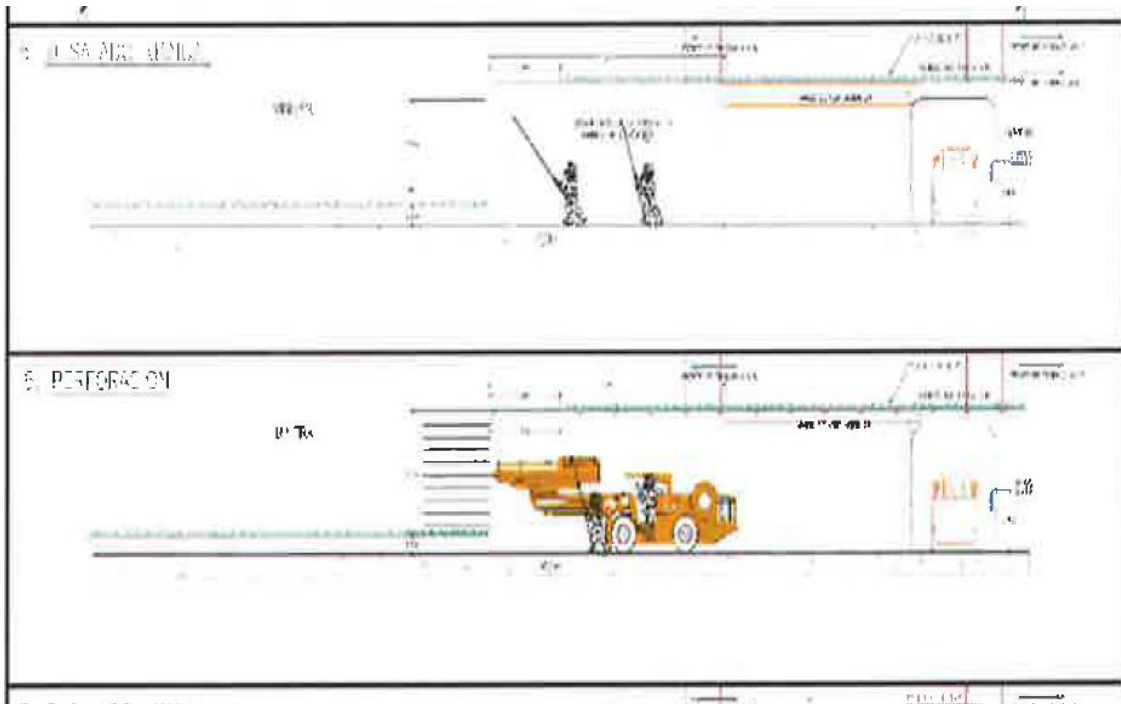


Figura N° 17: Carguio de taladros para el minado

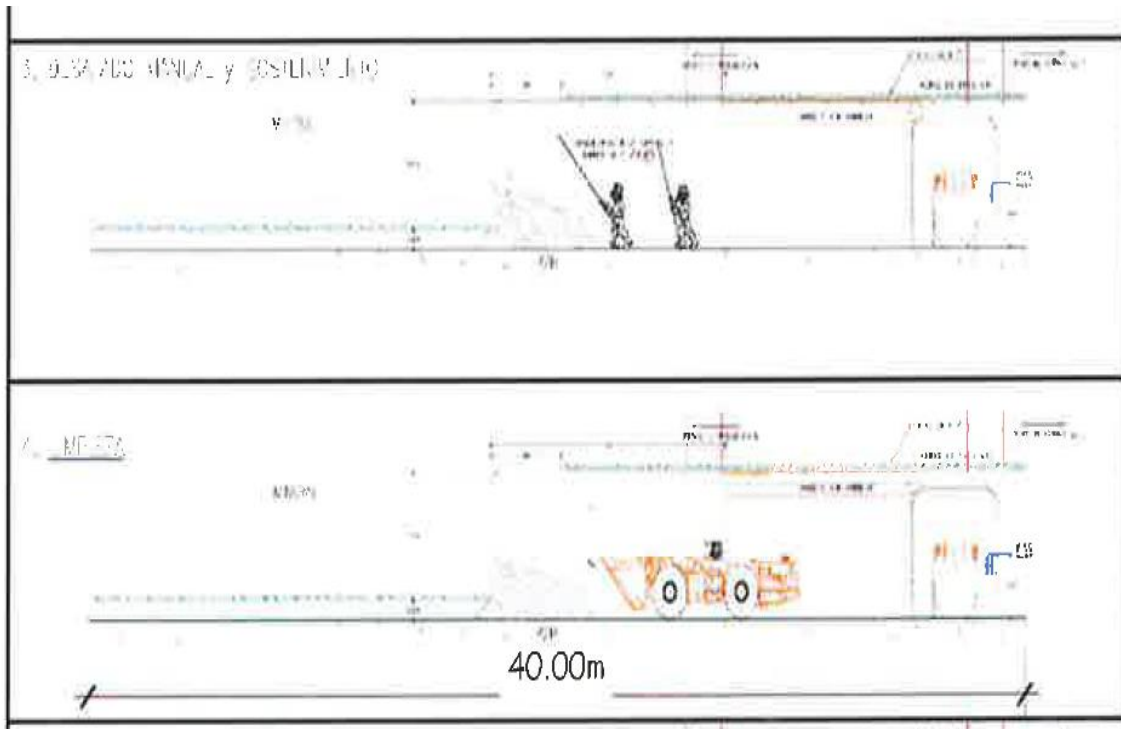


Figura N° 18: Limpieza y carguío del frente minado

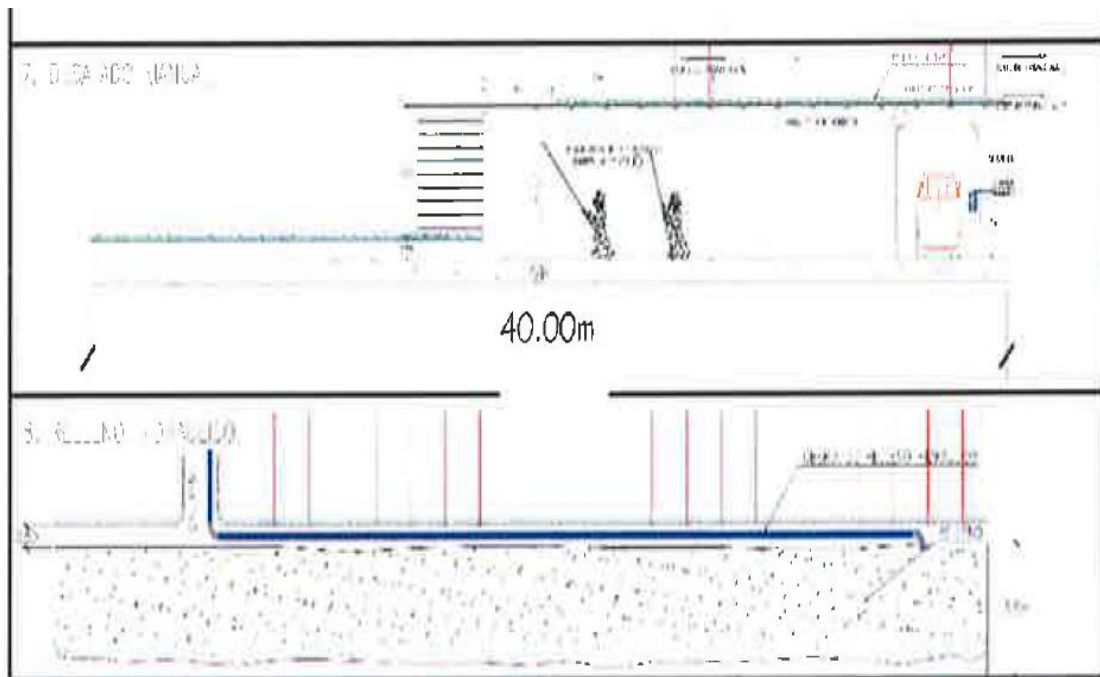


Figura N° 19: Realización de subniveles para el minado

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMEDAIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

1. Los resultados del análisis de distribución de discontinuidades, ha indicado la presencia de tres sistemas de discontinuidades en toda el área del estudio, formados principalmente por diaclasas y fallas, cuyas orientaciones promedio son: Sistema

1,352° /17o, Sistema 2, 177° / 13o; y Sistema 3,243° /15o. De estos tres sistemas, el primero predomina respecto a los otros dos. Localmente ocurren otros sistemas de discontinuidades secundarios. Además, hay una considerable cantidad de discontinuidades aleatorias en toda el área de estudio, lo cual es un reflejo del alto grado de fractura miento de la masa rocosa.

2. Es indudable que la presencia del agua es desde todo punto de vista dañina para las condiciones de estabilidad de las labores mineras. Lo que se observa en el campo es evidente. Las áreas de la mina con mayor presencia de agua son más inestables que aquellas donde la presencia del agua es menor. El agua ejerce un efecto muy negativo en la estabilidad de las labores mineras (tajo de exploración sub level) que se encuentran emplazadas en la falla Yauricocha.
3. Según las investigaciones básicas realizadas, los factores atribuibles a las condiciones geomecánicas de la masa rocosa del yacimiento que estarían influyendo en los problemas de inestabilidad de las excavaciones subterráneas y en la superficie son: la calidad Muy Mala de la masa rocosa mineralizada y calidad Mala de la roca encajonante (caja techo).
4. El proceso de selección del método de minado, ha indicado que el "hundimiento por subniveles" se adapta a las condiciones geomecánicas de la masa rocosa del yacimiento Rosaura, aunque no de una manera ideal, sin embargo, tiene ventajas frente a los otros posibles métodos de minado que se aparejan a estas condiciones naturales: el "corle y relleno" y el "conjunto de cuadros".
5. De acuerdo a las conclusiones de los modelamientos numéricos realizados, se concluye que el método de minado "hundimiento por subniveles" se debe continuar utilizando. En tal sentido, hay que orientar esfuerzos, por un lado, para mejorar las condiciones de estabilidad de las labores mineras, por otro lado, para mejorar los diferentes parámetros del método de minado que conduzcan a un menor costo y a una mayor productividad.

7. Se están presentado pequeños cuerpos de mineral encajonados en rocas cajas de roca caliza y con cajas competentes, de incrementarse estas zonas se podría migrar a minados tipo sub level stoping.

8. El control de agua subterránea proviene de puntos de aporte de calizas, intrusivo, percolación por la misma zona de subsidencia, aguas connatas, mapa freático; por lo que, se tomarán medidas de control parcial o total con el objetivo de disminuir el efecto de la presión hidrostática en cualquiera de los tipos de roca próximas a los tipos de minado presentes o futuros de Sociedad Minera Corona S.A.

## 5.2. RECOMENDACIONES

Se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones en relación al sostenimiento:

1. Apertura las excavaciones con la mínima antelación y dar velocidad al minado, para obtener un menor tiempo de permanencia de excavaciones abiertas.
2. No hacer encostillado completo alrededor de las cimbras, dejar hasta donde sea posible, aberturas en el encostillado para disipar los esfuerzos, pero esta actividad no debe significar dejar de topear las cimbras a la roca, lo cual es muy importante.
3. Realizar mediciones de convergencia, con el fin de tener un mejor entendimiento del comportamiento de las cimbras.
4. Se deberá implementar medidas efectivas de drenaje tanto en subterráneo como en superficie (área de subsidencia), a fin de minimizar los efectos negativos del agua. Actualmente se está llevando a cabo diferentes obras de drenaje en subterráneo, lo cual es sumamente importante, pero además deberá efectuar más obras en superficie, puesto que se ha observado en el área de subsidencia signos importantes de escorrentias (cárcavas), que podrían complicar más el problema de las inestabilidades tanto subterráneas como en superficie. Los drenajes están centralizados en controlar por un lado a las zonas calcáreas, al aporte del agua que proviene del intrusivo. Y su respectivo control estructural.
5. Es recomendable tomar en cuenta las recomendaciones dadas sobre los controles de calidad que se deben realizar en Yauricocha, en relación a los aspectos geomecánicos, distribución de carga en toda la columna, taladros de

alivio, etc. Monitorear el grado de afectación de la voladura mediante equipos sismográficos.

6. De incrementarse las pequeñas mineralizaciones en rocas competentes, sería recomendable preparar diseños, estudios y estándares como procedimientos de minado para minar con sub level stoping.

7. Continuar con el estudio de convergencia para el apoyo a la vida útil de los piques.

8. En lo que respecta a convergencia en interior mina están relacionadas a la vida útil del laboreo minero y al control de subsidencia dentro del cono de afectación de Sul Level Caving. Con el objetivo de velar por la estabilidad de laboreos cercanos a la influencia del cono de subsidencia.

9. Continuar posicionándose detrás de los sub level caving para el control del recurso hídrico. En las zonas del pórfido.

10 Continuar con los taladros de drenaje en roca caliza.

11 Continuar con el control de elementos de sostenimiento, así como mejorar en los controles de QA/OC para garantizar los protocolos de seguridad.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Blas Placido, C. 2016.** *La Geomecanica en el Sostenimiento de la Mina.* 2016.
2. **Carhuamaca Guerrero, J. 2009.** *Evaluación y Optimización del Sostenimiento con Cimbras.* 2009.
3. **Cordova Rojas, David. 2015.** *GEOMECÁNICA EN EL MINADO SUBTERRANEO CASO MINA CONDESTABLE.* Ica: s.n., 2015.
4. Compañía Minera Cerro S.A.C: Archivo departamento de Minas.
5. Compañía Minera Cerro S.A.C: Archivo departamento de geología.
6. Compañía Minera Cerro S.A.C: Archivo departamento de Ingeniería
7. Compañía Minera Cerro S.A.C: Departamento Geotecnia y Sostenimiento.
8. **Deere. 1984.** *Índice de designación de la calidad de la roca (RQD) Rock Quality Design.* 1984.
9. **Guzman Zuñiga, C. 2008.** *Sostenimiento con shotcrete vía húmeda en la mina.* 2008.
10. **Lopez Felix, G. 2009.** *Sostenimiento con pernos tipo fore pilling.* 2009.
11. **Mendieta Britto. 2014.** *OPTIMIZACIÓN DE LOS COSTOS OPERATIVOS EN LA UNIDAD CERRO CHICO.* 2014.
12. **Michel Caceres, Mallca Eduin. 2017.** *Evaluación geomecánica del macizo rocoso para el sostenimiento de las labores de explotación en la mina San Cristobal - Compañía Minera Volcan.* Nazca, Ica - Peru : Evaluación geomecánica, 2017. ISBN.
13. **Palmstrom. 1982.** *Índice de designación de la calidad de la roca (RQD).* 1982.

**14. Pantaleón Junco, German Junior. 2015.** *“Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea”*. Trujillo: editor, 2015.

**ANEXOS**  
**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPOTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>✓ ¿Qué características geomecánicas posee el macizo rocoso de la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A.?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>✓ Determinar las características geomecánicas que posee el macizo rocoso de la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A.</p>	<p><b>HIPOTESIS GENERAL</b></p> <p>Determinando las características geomecánicas que posee el macizo rocoso de la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A. nos permitirá diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>✓ Características geomecánicas que posee el macizo rocoso</p>
<p><b>PROBLEMA ESPECIFICO</b></p> <p>¿Qué propiedades físicos – químicos posee las rocas de la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A. que permita diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable? ¿Qué criterios geomecánicos se debe tener para diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable. En la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A?</p>	<p><b>OBJETIVO ESPECIFICO</b></p> <p>Determinar las propiedades físicos – químicos que posee las rocas de la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A. que permita diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable.</p>	<p><b>HIPOTESIS ESPECIFICO</b></p> <p>Si Determinamos las propiedades físicos – químicos que posee las rocas de la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A. nos permitirá diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable Determinando los criterios geomecánicos que posee las rocas nos permitirá diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable. En la Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A.</p>	<p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p>✓ Diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable</p>